

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



Grado en Ingeniería de Tecnologías y  
Servicios de Telecomunicación

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO, DESPLIEGUE Y PUESTA EN  
MARCHA DE LA INFRAESTRUCTURA  
DE LA RED IP DE SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN DE ADIF EN UNA  
ESTACIÓN DE CERCANÍAS**

Autor: Jorge Carlos Garay Martínez

Tutor: José Luis Iglesias Martínez

Ponente: Jorge E. López de Vergara Méndez

Mayo 2016



# DISEÑO, DESPLIEGUE Y PUESTA EN MARCHA DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED IP DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE ADIF EN UNA ESTACIÓN DE CERCANÍAS



Autor: Jorge Carlos Garay Martínez  
Tutor: José Luis Iglesias Martínez  
Ponente: Jorge E. López de Vergara Méndez

Jefatura de Ingeniería de Clientes  
D.G. Financiera y Corporativa  
Dirección de Sistemas y Tecnologías de la Información  
Administrador de Infraestructuras Ferroviarias  
Mayo 2016



## Resumen

A lo largo de estas últimas décadas se ha podido observar que la conexión entre múltiples puntos alrededor del mundo es crucial para transportar información. Esta información puede ser movimientos de fondos entre bancos, transmisión de información confidencial entre países o los paquetes que se generan en una videollamada. Debido a ello, el estudio de las redes se ha convertido en una prioridad a la hora de la creación de una nueva sede, oficina o empresa.

Estos estudios están encaminados según las necesidades de cada institución. La escalabilidad, disponibilidad, redundancia, seguridad y monitorización son factores a tener en cuenta a la hora de la creación de cualquier red. Existe una frontera entre distintas redes tal como la separación entre la red interna y el exterior. Por lo tanto, la forma de entender la estructuración de ambas es diferente.

Por consiguiente, se va a realizar una estructura de red adaptada a las necesidades de ADIF, dentro de su amplio catálogo de servicios; se procederá a realizar el diseño de red para una estación de Cercanías en el área de Madrid. Se dará conectividad a todos los sistemas de información característicos de una estación de Cercanías (señalización, accesos, venta de billetes...).

Primero se estudiará la red actual guiándonos mediante la documentación disponible y se examinará la implementación realizada en estaciones similares. Teniendo toda esa información, se analizarán las posibles soluciones acordes a las necesidades, y se desarrollará una solución óptima. Implantaremos las configuraciones necesarias para la creación de la arquitectura de red, así como la integración de los dispositivos y funcionamiento correcto del modelo.

## Palabras Clave

ADIF, Redes IP, TIC, Redundancia, Alta Disponibilidad, Cercanías.

## **Abstract**

Throughout the last decades it has been observed that the connection between multiple points around the world is crucial for transporting information. This information may be movements of funds between banks, transmission of confidential information between countries or packages generated by a videoconference. As a result the study of networks has become a priority when creating new headquarters, office or companies.

These studies are directed to the needs of each institution. Scalability, availability, redundancy, security and monitoring are factors to consider when setting up any network.

Therefore, the objective of this document is to create a network infrastructure adapted to the needs of ADIF, within its wide range of services, it will focus on the network design for a commuter train station in the Madrid area. Connectivity will be given to all information systems located in such a location, such as: signage, access control, ticket sales and control..

A study of the actual infrastructure and services provided by the organization needs to be conducted in order to establish the necessary background. Having completed this study, possible solutions for the new network will be identified having into account all the services and systems which need to be allocated. Finally the most optimal solution will be implemented, completing all the necessary steps, including: design, planning, installation and testing.

## **Key words**

ADIF, IP Networks, ICTs, High Availability, Redundancy, Conmuter Train Station

# Agradecimientos

La culminación de este proyecto no es más que un punto final a un largo camino que empezó hace demasiados años. La mayor parte de este camino no ha sido fácil, pero ha merecido la pena y lo volvería a recorrerlo sin pestañear dos veces. Durante estos años he tenido el privilegio de conocer a personas extraordinarias y compartir con ellas momentos tanto malos como buenos.

En primer lugar me gustaría agradecer a José Luis, por darme la increíble oportunidad de poder hacer este trabajo bajo su tutelaje. He tenido el privilegio de poder aprender de una gran persona que en mi opinión es la viva imagen de lo que un Ingeniero de Telecomunicación debería ser.

En segundo lugar a mis padres y familia por estar siempre ahí por apoyarme en todo, dándome en empujón siempre que lo he necesitado.

A Pia por tantísimas cosas que podría escribir un TFG entero sobre ellas, pero sobre todo por ser mi vía de escape y por escucharme siempre que lo he necesitado. Sinceramente sin ella la verdad nunca habría conseguido llegar hasta aquí.

Durante mis largas horas en la Escuela (creerme han sido muchas) he tenido el privilegio de compartir la mayoría de ellas con mucha gente, pero a la hora de escribir esto se me vienen algunas en particular.

Principalmente Víctor, mi compañero inseparable de prácticas y estudio, que no solo ha sido un apoyo académico si no moral y personal. No me llevo un compañero si no un amigo para toda la vida.

Ricardo por todas esas horas de tren que hemos pasado juntos y por tantísimos buenos momentos que hemos pasado juntos y por los que nos quedan por vivir.

Muchos compañeros más: Raúl, Gonzalo, Sergio, Tapia, Jujo, Ana, Claudia y un largo etcétera.

A todo el equipo de Ingeniería de Clientes y de Diseño de Red de ADIF: Ángel, Joaquín, Guillermo, Juan Carlos, Carlos C, Carlos H, Rafa, Antonio y Victor, por sacar un rato para ayudarme en lo que pudieran y porque en la vida se me olvidara la cara que me puso Ángel el día del Switch de Delicias.

Se me olvidan un montón de personas que se merecen ser mencionadas aquí, pero por desgracia solo me dejan una página para los agradecimientos.

Continuous effort - not strength or  
intelligence - is the key to unlocking our  
potential.

---

Winston Churchill





# Índice general

<b>Índice de Figuras</b>	<b>x</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xii</b>
<b>Glosario de Acrónimos</b>	<b>xv</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos y enfoque . . . . .	1
1.2. Fases . . . . .	2
1.2.1. Estudio del Estado del Arte . . . . .	2
1.2.2. Diseño . . . . .	2
1.2.3. Planificación . . . . .	2
1.2.4. Implementación . . . . .	2
1.2.5. Redacción de la Memoria . . . . .	2
1.3. Estructura del documento . . . . .	3
<b>2. Estado del arte</b>	<b>5</b>
2.1. Introducción . . . . .	5
2.2. Redes IP . . . . .	5
2.3. La Red IP de Sistemas de Información de ADIF . . . . .	6
2.3.1. Backbone . . . . .	9
2.3.2. QoS . . . . .	10
2.3.3. Clasificación en Clases de Servicio . . . . .	10
2.3.4. Marcado de tráfico . . . . .	11
2.3.5. Conexión Física entre Nodos . . . . .	12
2.3.6. Topología hasta CU . . . . .	13
2.4. Conclusión . . . . .	15
<b>3. Diseño de la Solución</b>	<b>17</b>
3.1. Introducción . . . . .	17
3.2. Petición de Servicio . . . . .	17

3.3. Análisis de la Petición . . . . .	18
3.4. Diseño . . . . .	18
3.5. Conclusión . . . . .	18
<b>4. Planificación</b>	<b>19</b>
4.1. Introducción . . . . .	19
4.2. Identificación de Tareas . . . . .	19
4.3. Planificación de las Tareas . . . . .	20
4.4. Recursos . . . . .	21
4.4.1. Recursos Humanos . . . . .	21
4.4.2. Recursos Físicos . . . . .	21
4.4.3. Asignación de Recursos . . . . .	22
4.5. Presupuesto . . . . .	22
4.6. Conclusión . . . . .	23
<b>5. Implementación</b>	<b>25</b>
5.1. Introducción . . . . .	25
5.2. Estudio de Viabilidad . . . . .	25
5.3. Diseño de Conectividad . . . . .	25
5.3.1. Modelo de Conectividad . . . . .	26
5.3.2. Ubicación . . . . .	26
5.4. Implantación . . . . .	28
5.4.1. Direccionamiento . . . . .	28
5.4.2. Bastidor . . . . .	29
5.4.3. Circuito . . . . .	29
5.4.4. Router de Usuario - RU200-58 . . . . .	30
5.4.5. Switch de Usuario - LU200-58-1 . . . . .	31
5.4.6. Backbone . . . . .	31
5.5. Pruebas . . . . .	32
5.6. Pase a Producción . . . . .	32
5.6.1. Documentación . . . . .	33
5.6.2. Alta Sistemas de Gestión . . . . .	33
5.7. Cierre . . . . .	34
5.7.1. Calidad . . . . .	34
5.7.2. QoS . . . . .	35
5.7.3. Incidencias . . . . .	36
5.8. Conclusión . . . . .	36

<b>6. Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>37</b>
6.1. Introducción . . . . .	37
6.2. Conclusiones . . . . .	37
6.3. Retrasos en el Proyecto . . . . .	38
6.4. Trabajo Futuro . . . . .	38
<b>Bibliografía</b>	<b>I</b>
<b>A. Modelos de Conectividad</b>	<b>III</b>
A.1. Introducción . . . . .	III
A.2. Acceso del Router de Usuario a través de Enlace Serie . . . . .	III
A.3. Acceso de LAN de Usuario a través de Enlace Fibra o Cobre . . . . .	IV
A.4. Centros de Usuario con soluciones de backup . . . . .	V
A.4.1. Acceso del Router de Usuario a través de Enlace Serie y Backup por RDSI . . . . .	V
A.4.2. Acceso Doble (dos Routers de Usuario) a través de Enlace Serie . . . . .	VI
A.4.3. Acceso Doble a través de Fibra y Cobre . . . . .	VI
A.5. Acceso del Centro de Usuario que pertenece a más de una VPN (Multi-VRF) . . . . .	VII
<b>B. Documentación Planificación</b>	<b>IX</b>
B.1. Introducción . . . . .	IX
B.2. Recursos . . . . .	IX
B.3. Presupuesto . . . . .	XI
B.4. Retrasos en la ejecución . . . . .	XII
B.4.1. Cambios en el timing . . . . .	XII
B.4.2. Cambios en el Presupuesto . . . . .	XII
B.5. Gestión del Valor Ganado . . . . .	XIII
B.5.1. Valor Ganado . . . . .	XIV
B.5.2. Variación en el tiempo . . . . .	XIV
B.5.3. Índices de Coste y Rendimiento . . . . .	XV
<b>C. Plan de Direccionamiento</b>	<b>XVII</b>
C.1. Introducción . . . . .	XVII
C.2. Zona de direccionamiento . . . . .	XVII
C.3. Particionado del espacio de direccionamiento . . . . .	XVII
C.4. Distribución del espacio de direccionamiento . . . . .	XVIII
C.4.1. Rangos de los Centros de Zona (CZ) . . . . .	XVIII
C.4.2. Rangos de los Centros de Intermedios (CI) . . . . .	XIX
C.4.3. Direccionamiento en los Centros de Usuario (CU) . . . . .	XX

<b>D. Nomenclatura de Red</b>	<b>XXI</b>
D.1. Introducción . . . . .	XXI
D.2. Centros . . . . .	XXI
D.2.1. Centros de Zona e Intermedios . . . . .	XXI
D.2.2. Centros de Usuario . . . . .	XXII
D.3. Equipos de Red Troncal (Backbone) . . . . .	XXII
D.3.1. Router . . . . .	XXIII
D.3.2. Switch o Conmutador . . . . .	XXIII
D.4. VLAN . . . . .	XXIII
D.4.1. VLAN Backbone . . . . .	XXIV
D.4.2. VLAN Nodal . . . . .	XXIV
D.4.3. VLAN de Acceso . . . . .	XXIV
<b>E. Manual de configuraciones</b>	<b>XXV</b>
E.1. Introducción . . . . .	XXV
E.2. Router en Ubicación (RU200-58) - Teldat V . . . . .	XXV
E.3. Swtich en Ubicación (LU200-58-1) - Cisco 2960 . . . . .	XXX
E.4. Swtich concentrador de múltiples redes de Usuario (SM-CHA-1) - Cisco WS- C3750G-24TS . . . . .	XXXV
E.5. Router Conmutador de Backbone (RB-CHA-1) - Cisco ASR 900 . . . . .	XXXV
E.6. Router Conmutador de Backbone (RB-CHA-2) - Cisco ASR 900 . . . . .	XXXVI
E.7. Túneles de backup 3G/4G . . . . .	XXXVII

## Índice de Figuras

2.1. Red Backbone de ADIF . . . . .	8
2.2. Modelo de Backbone MPLS . . . . .	9
2.3. Clasificación y Marcado de Tráfico . . . . .	12
2.4. Acceso principal mediante PPLs . . . . .	13
2.5. Acceso principal por fibra óptica . . . . .	14
2.6. Ejemplo de red con backup 3G/4G . . . . .	14
4.1. Estructura de Descomposición del Trabajo . . . . .	20
4.2. Diagrama de Gantt . . . . .	20
4.3. Diagrama de Gantt con asignación de recursos . . . . .	22
4.4. Resumen de coste por Tarea . . . . .	23
5.1. Diseño de red para CU200-58 . . . . .	26
5.2. Planos de la estación de Cercanías . . . . .	27
5.3. Cuartos de Comunicaciones . . . . .	27
5.4. Reserva de Clases C para CU200-58 . . . . .	28
5.5. Diagrama de red actualizado para CU200-58 . . . . .	28
5.6. Bastidor para CU200-58 . . . . .	29
5.7. Petición circuito para CU200-58 . . . . .	30
5.8. Prueba PING a RU200-58 . . . . .	32
5.9. Prueba PING a LU200-58-1 . . . . .	32
5.10. Formulario de inclusión elementos CMDB . . . . .	33
5.11. Relación de elementos en CMDB . . . . .	33
5.12. Gráfica de tráfico en el enlace WAN . . . . .	34
5.13. Gráfica de tráfico en el enlace LAN . . . . .	35
5.14. Gráfica de tráfico en el backup 3G/4G . . . . .	36
A.1. Acceso Principal de Centro de Usuario mediante enlace punto a punto . . . . .	IV
A.2. Acceso Principal del LAN de Usuario mediante Enlace Fibra . . . . .	IV
A.3. Acceso de Centro de Usuario mediante Enlace Serie y Backup por RDSI . . . . .	V
A.4. Acceso Doble del Centro de Usuario mediante Enlaces Serie . . . . .	VI

A.5. Acceso Doble de la LAN de Usuario mediante enlace Fibra o Cobre . . . . .	VII
A.6. Multi-VRF en una Línea Serie con encapsulación Frame Relay . . . . .	VIII
B.1. Asignación de recursos a tarea . . . . .	X
B.2. Carga trabajo Jefe de Comunicaciones . . . . .	X
B.3. Carga trabajo Mando Intermedio . . . . .	X
B.4. Carga trabajo Técnico de Comunicaciones . . . . .	X
B.5. Diagrama de Gantt de Seguimiento . . . . .	XII
B.6. Gráfica del Valor Ganado en función del Tiempo . . . . .	XIV
B.7. Gráfica de la Variación en el tiempo . . . . .	XV
B.8. SPI y CPI en función del Tiempo . . . . .	XVI

## Índice de Tablas

4.1. Recursos Materiales, Precio y Mantenimiento . . . . .	21
B.1. Presupuesto por tarea . . . . .	XI
B.2. Tabla de Costo Actualizado . . . . .	XIII
D.1. Nomenclatura Centros Zonales e Intermedios . . . . .	XXII
D.2. Nomenclatura para Equipos . . . . .	XXIII





# Glosario de Acrónimos

- **ADIF:** Administrador de Infraestructuras Ferroviarias
- **Renfe:** Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (Grupo Renfe Operadora)
- **ERTMS:** European Rail Traffic Management System
- **GSM-R:** Global System for Mobile communications - Railway
- **IP:** Internet Protocol
- **CPD:** Centro de Procesamiento de Datos - Data Center
- **CZ:** Centros Zonales
- **CI:** Centros Intermedios
- **CU:** Centros de Usuario
- **RU:** Router de Usuario
- **LU:** Lan de Usuario
- **SU:** Switch de Usuario
- **MPLS:** Multiprotocol Label Switching
- **QoS:** Quality of Service
- **UTP:** Unshielded Twisted Pair
- **mm:** Fibra óptica monomodo
- **MM:** Fibra óptica multimodo
- **SNMP:** Simple Network Management Protocol
- **DHCP:** Dynamic Host Configuration Protocol
- **TACACS+:** Terminal Access Controller Access Control System
- **LAN:** Local Area Network
- **VLAN:** Virtual Local Area Network
- **WAN:** Wide Area Network
- **EVC:** Ethernet Virtual Circuit
- **CMDB:** Configuration Management Database
- **Wi-Fi:** Wireless Fidelity

- **RDSI:** Red Digital de Servicios Integrados
- **CCTV:** Close Circuit Television
- **ITU:** International Telecommunication Union
- **BDI:** Bridge Domain Interface
- **P:** Provider
- **PE:** Provider Edge
- **CE:** Customer Edge
- **CPE:** Customer Premises Equipment
- **SLA:** Service Level Agreement
- **BBDD:** Bases de Datos
- **ITIL:** Information Technology Infrastructure Library
- **CMDB:** Configuration Management Database
- **NBD:** Next Business Day
- **TFG:** Trabajo Fin de Grado
- **VC:** Virtual Circuit
- **PVC:** Permanent Virtual Circuit
- **CIR:** Committed Information Rate
- **EIR:** Excess Information Rate
- **VPN:** Virtual Private Network
- **VRF:** Virtual Routing and Forwarding
- **VPLS:** Virtual Private LAN Service

# 1

## Introducción

La Administración de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) es una entidad pública que depende del Ministerio de Fomento cuyo objetivo es la construcción de líneas ferroviarias y la gestión de su explotación. En la actualidad dispone de 12.241 km de vías con 1.862 estaciones y 51 instalaciones logísticas en distintos puntos de la geografía española, generando en 2015 un total de 1.965.644 circulaciones<sup>1</sup> [1].

Debido a la extensión de la infraestructura que despliega ADIF en toda la geografía española y de todos los servicios que se están pasando a operar mediante sistemas informáticos es esencial que exista una infraestructura de comunicaciones de alta calidad entre todas las localizaciones.

Por lo cual uno de los cometidos de ADIF es la gestión de su infraestructura de telecomunicaciones, una red de fibra óptica de una longitud del orden de 16.000 kilómetros, que se extiende a lo largo del tendido ferroviario y que enlaza las principales capitales españolas. En este sentido, ADIF, además de utilizar su red de fibra óptica para dar soporte a los servicios propios de la explotación ferroviaria, ofrece servicio a los diferentes operadores de telecomunicaciones del sector en nuestro país, como forma de optimizar el excedente de capacidad de su red de fibra óptica y colaborar al desarrollo tecnológico global.

En cuanto a la explotación ferroviaria, esta red de telecomunicaciones hace posible la actividad ferroviaria convencional, al tiempo que permite el desarrollo e implantación de las últimas tecnologías relacionadas con la gestión del ferrocarril, como son el sistema de señalización para alta velocidad denominado ERTMS o el modelo de comunicaciones móviles GSM-R, entre otros [2].

### 1.1. Objetivos y enfoque

---

El principal objetivo de este trabajo será la creación de una red de comunicaciones que de servicio a una nueva estación de Cercanías en la localidad de Madrid.

Esto se hará siguiendo las directrices ya establecidas para estaciones similares ya funcionando en diversos puntos de la geografía española. Además se deberán satisfacer las necesidades impuestas por nuestro cliente: Renfe, el cual procederá a la explotación de la estación.

---

<sup>1</sup>Se define una circulación como el trayecto que realiza un tren desde su estación de origen hasta su destino

## **1.2. Fases**

---

Para la realización de este proyecto y con el fin de que se realice de forma satisfactoria, cumpliendo los requisitos del cliente y siguiendo las directrices impuestas por ADIF, se ha dividido el proyecto en tres fases: Diseño, Planificación e Implementación. De esta manera nos podemos encaminar hacia la ejecución de una manera estructurada.

Las fases descritas con anterioridad se identifican con aquellas necesarias para la ejecución del proyecto dentro de un ámbito empresarial. Debido a que este proyecto también tiene una componente académica se han realizado dos fases más, cuya ejecución fue necesaria para la redacción de este documento y que no quedan documentadas en el mismo.

### **1.2.1. Estudio del Estado del Arte**

Esta fase surge de la necesidad de no solo tener un conocimiento en profundidad de la tecnología actual utilizada en los tres primeros niveles OSI (físico, enlace de datos y red) si no también de la tecnología empleada por ADIF en su red de Sistemas de Información.

El capítulo 2 de este documento recoge los conocimientos adquiridos en esta fase.

### **1.2.2. Diseño**

En esta fase se analiza la petición de servicio que, como cliente, Renfe transmite a ADIF, en la que solicita conectividad en la ubicación de la nueva estación y se crea un diseño para la red teniendo en cuenta las necesidades del cliente y los recursos disponibles por parte de ADIF.

### **1.2.3. Planificación**

La segunda fase del proyecto trata sobre la planificación del proyecto. En esta fase se desarrollará un plan conciso siguiendo una metodología basada en Diagramas de Gantt. De esta manera se dividirá el proyecto en tareas manejables con objetivos marcados según una programación temporal.

### **1.2.4. Implementación**

En esta fase, se documentarán y ejecutarán todas las tareas definidas en la fase de Planificación. Por tanto se propone y materializa una solución concisa para el problema.

### **1.2.5. Redacción de la Memoria**

Finalmente se desarrolla la documentación de todas las fases descritas con anterioridad. La culminación de esta fase da como resultado el presente documento.

### **1.3. Estructura del documento**

---

Este documento y los anexos que lo acompañan se dedicarán a la explicación de todas las fases mencionadas en el apartado anterior. Cada capítulo se dedicará a explicar de manera detallada los pasos realizados para completar cada tarea.

- En el segundo capítulo se expone el estado del arte de este proyecto, estudiando las redes IP en particular centrándonos en las desplegadas por ADIF y la tecnología que se utiliza.
- El tercer capítulo abarcará el estudio de la petición y el diseño de una solución.
- El cuarto capítulo abarcará la planificación del proyecto dividiéndose en unidades de trabajo manejables y con objetivos fijados.
- El capítulo quinto documentará la ejecución de las tareas descritas en el capítulo anterior.
- Finalmente, en el capítulo sexto se expondrán las conclusiones del trabajo realizado, así como futuras aportaciones o mejoras que se puedan hacer al trabajo presentado.

De forma adicional se incluyen una serie de anexos con el fin de aclarar y dar más información al lector sobre temas y conceptos que durante el desarrollo de la memoria se dan por supuesto. Estos anexos se pueden encontrar al final del documento conteniendo la siguiente información:

- Anexo A: En el se pueden encontrar todos los modelos de conectividad usados por ADIF para hacer el despliegue y ampliación de la red IP de sistemas de información.
- Anexo B: El fin de este anexo es expandir la información dada en el cuarto capítulo sobre la planificación del proyecto.
- Anexo C: Comprende el plan de direccionamiento IP que se encuentra establecido dentro de ADIF para administrar y mantener la clase A adquirida por la organización.
- Anexo D: Similar al anexo C, pero en este se describe la nomenclatura que se le da a los equipos, centros y cableado desplegados por ADIF.
- Anexo E: El lector puede encontrar las configuraciones que se han utilizado en todos los equipos involucrados en el despliegue de la red IP de sistemas de información de ADIF en la nueva estación de Cercanías.



# 2

## Estado del arte

### 2.1. Introducción

---

En este capítulo se hará una descripción sobre la actividad y funcionamiento de las redes IP en la actualidad y nos centraremos en la actividad y funcionamiento de las redes de comunicaciones de ADIF.

La Red IP de Sistemas de Información de ADIF se extiende por toda la geografía española, no solo en estaciones de tren si no también en sus oficinas y talleres, por lo que proporciona una gran variedad de servicios y topologías de conectividad.

Con el fin de simplificar este capítulo y hacerlo lo más educativo posible, se dará una breve introducción a la Red IP de Sistemas de Información de ADIF y los servicios que presta. Nos centraremos en las características y servicios prestados por el Backbone, su conexión a los nodos y en particular en las diversas topologías hasta el terminal del usuario.

### 2.2. Redes IP

---

En la actualidad podemos identificar dos técnicas de diseño de redes: las redes basadas en conmutación de circuitos, en las que se basa la telefonía tradicional y las redes en las que se basará este proyecto, las denominadas redes de conmutación de paquetes.

Las redes de conmutación de paquetes son la evolución del diseño implantado en 1972 por ARPA y el DoD, denominado ARPAnet.

ARPAnet fue creciendo paulatinamente, y pronto se hicieron experimentos utilizando otros medios de transmisión de datos, en particular enlaces por radio y vía satélite. Los protocolos existentes tuvieron problemas para interoperar con estas redes, por lo que se diseñó un nuevo conjunto o pila de protocolos, y con ellos una arquitectura. Este nuevo conjunto se denominó TCP/IP, nombre que provenía de los dos protocolos más importantes que componían la pila. Los nuevos protocolos fueron especificados por vez primera por Cerf y Kahn en un artículo publicado en 1974 [3]. A la nueva red, que se creó como consecuencia de la fusión de ARPAnet con las redes basadas en otras tecnologías de transmisión, se la denominó Internet.

La evolución de esta nueva infraestructura consiguió establecer dos modelos, uno de ellos más genérico que no solo se podía identificar con Internet si no con otros sistemas de conmutación de paquetes. A este modelo se le denomina modelo OSI. Al otro modelo, mucho más simplificado y que describe a la perfección Internet, se le denominó TCP/IP.

Este proyecto se basa en las tres capas inferiores del modelo OSI, esto es las capas física, enlace de datos y red.

## **2.3. La Red IP de Sistemas de Información de ADIF**

---

La Red IP de Sistemas de Información de ADIF es la red que soporta los servicios TIC de ADIF y la mayor parte de los de Renfe. Los servicios que actualmente presta la Red IP Corporativa de ADIF son consecuencia de la evolución de una antigua Red de Teleproceso que principalmente ofrecía los servicios:

- SNA con terminales Punto a Punto.
- Accesos Remotos Conmutados.
- Conexiones X25.
- Interconexión con otras Redes.
- Redes Locales.

La implantación de tecnología TCP/IP permitió integrar servicios de comunicaciones disjuntos sobre una misma red y con mejores prestaciones. En la actualidad, la Red IP Corporativa de ADIF ha evolucionado hacia una red multiservicio sobre distintas tecnologías de acceso. Los principales servicios prestados sobre esta red son:

- Transmisión de Datos de Alta Velocidad.
- Control de Acceso a la Red.
- Soporte Multiprotocolo.
- Aplicaciones Intranet, Extranet e Internet.
- Correo Electrónico.
- Videovigilancia.
- Videoconferencia.
- Telefonía IP.
- Megafonía.
- Teleindicadores.

La Red IP de Sistemas de Información tiene cerca de 3,000 puntos de presencia y más de 25.000 usuarios conectados. Está interconectada tanto con otras redes propias de ADIF (Multiservicio, AVE, etc.) como con redes externas (Red SARA, Vodafone, Renfe Operadora, Atento, etc.) e Internet.



La red IP de ADIF está concebida como una estructura jerárquica con la siguiente topología de nodos:

- **Centros de Usuario:** En adelante CU, aproximadamente unos 1.800, distribuidos por la geografía española. Representan los puntos de acceso a la red para los usuarios.
- **Centros Intermedios:** En adelante CI, agregan el tráfico de los Centros de Usuario. Forman parte de la Red Troncal. Al menos uno por Provincia.
- **Centros de Zona:** En adelante CZ, concentran el tráfico de los Centros Intermedios. En total existen nueve, forman parte de la Red Troncal.
- **CPD o Nodos singulares:** Son Centros de Zona ubicados en los CPDs de ADIF: Delicias y Villaverde, que son destino de la gran mayoría del tráfico generado por los centros de usuario. Estos nodos forman parte de la Red Troncal.

En la figura 2.1 se puede encontrar un esquema detallado de la Red IP de Sistemas de Información de ADIF.

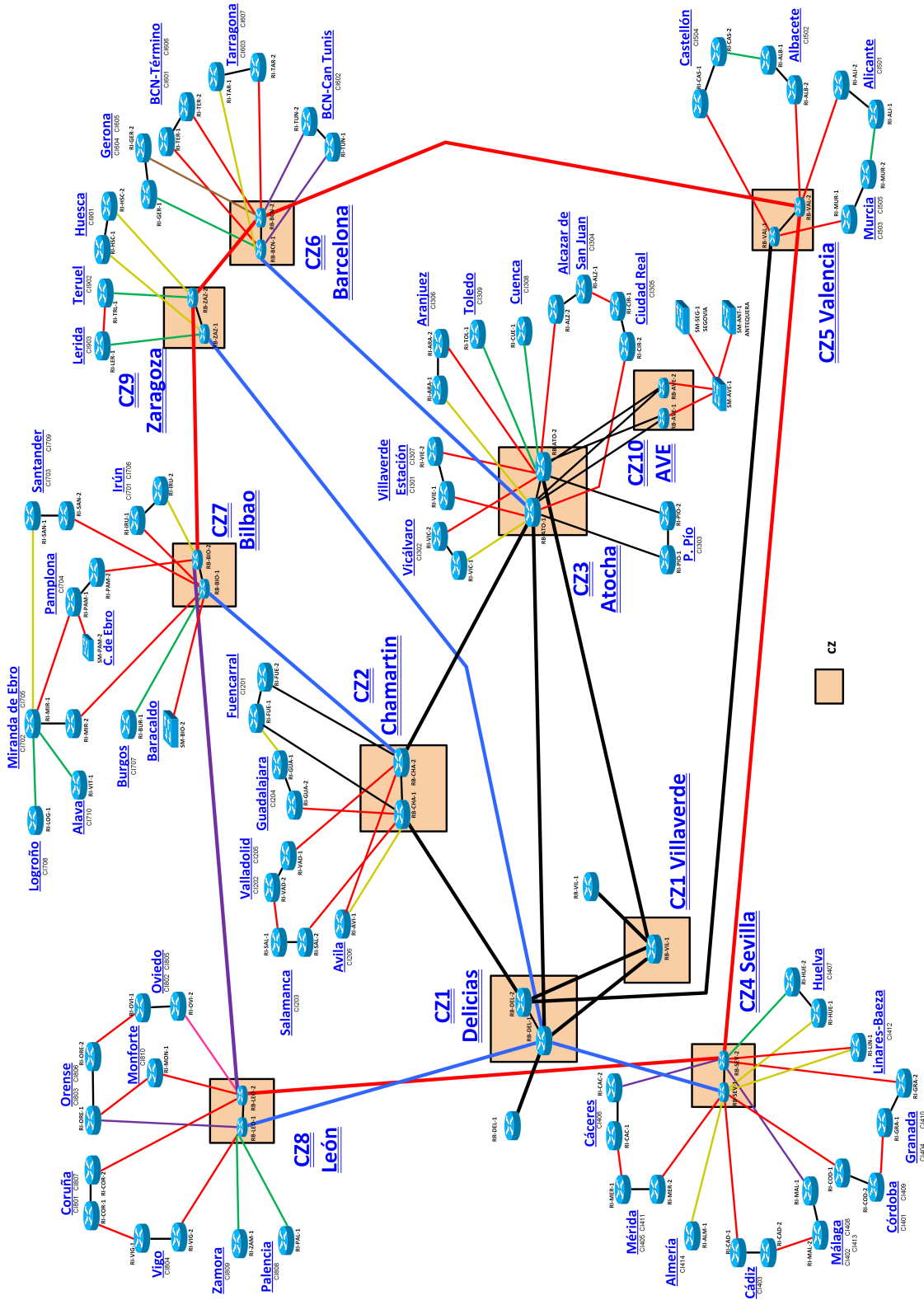


Figura 2.1: Red Backbone de ADIF

### 2.3.1. Backbone

Como ya se ha hablado en el apartado 2.3 y posteriormente se ha visto representado en la figura 2.1, la red IP de Sistemas de Información de ADIF tiene una estructura jerárquica que ha ayudado a su crecimiento durante los años siguientes a su implantación.

En 2004, dado el crecimiento que estaba teniendo la red y la necesidad de obtener una mayor diferenciación de servicio para las distintas unidades de negocio, empresas externas y organismos gubernamentales se decidió implementar un protocolo recién formulado: MPLS [4]. Con la implantación de dicho protocolo en el backbone se conseguía unificar y jerarquizar aun más la red, dando la posibilidad de facilitar servicios de mayor calidad como VPNs. Siguiendo las especificaciones marcadas por *IETF* [5] se estableció un diseño preliminar siguiendo la estructura marcada en la figura 2.2.

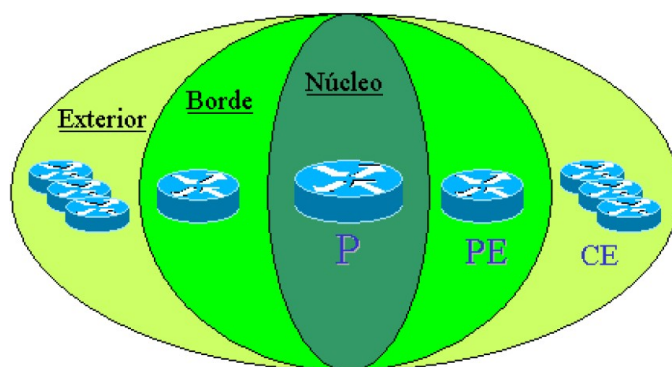


Figura 2.2: Modelo de Backbone MPLS

El núcleo representa la parte central del backbone, siendo constituida principalmente por routers de agregación de gran cantidad de líneas de alta capacidad, que harán lo que se denomina "función de P"(Provider). Estos Router no enrutan tráfico IP, si no tráfico ya etiquetado como MPLS [6]. En particular podemos identificar la función de P desarrollado por equipos situados en los CZ.

El borde es la parte del backbone que rodea al núcleo y está compuesto por routers de acceso que constituyen el borde de la red, haciendo "función de PE"(Provider Edge). A estos routers se conecta, por una parte los routers del núcleo, y por otra, los routers externos a la red (típicamente CEs). Estos routers PE tienen la función de encapsular y desencapsular el tráfico IP con cabeceras MPLS; enrutar tráfico IP hacia los equipos de la capa exterior y, tráfico MPLS hacia los equipos del núcleo. La función de PE es desarrollada sobre todo por los equipos que actúan como CI, pero existen casos de equipos en CZ que desarrollan de manera simultánea las funciones de P y PE.

La capa exterior está compuesta por los equipos que no forman parte del backbone en sí, haciendo "función de CE"(Customer Edge). Estos routers serán completamente ajenos al MPLS puesto que sólo enrutarán tráfico IP. Se identifican como los equipos marcados como CU.

La estructura descrita habilita servicios de VPNs sobre MPLS, apoyándose en Multiprotocol-BGP [7] para la articulación de este servicio. En este sentido, todos los routers en funciones de "PE"mantienen 'peerings' de MP-BGP entre ellos en una estructura completamente mallada.

### **2.3.2. QoS**

Dadas las características de la red y los servicios críticos que se prestan, es esencial tener implementado un método de QoS [9] para satisfacer los requerimientos de los usuarios y de las aplicaciones. Aprovechando la implantación de MPLS se decidió implementar un método de QoS basado en *DiffServ* [10], ya que así se facilitaría la escalabilidad de la red.

En concreto se utiliza un modelo Pipe DiffServ, por lo tanto de manera general se marca el tipo de tráfico en el PE utilizando el campo *EXP* de la cabecera MPLS. Existen casos particulares en los que el CPE se considera como fiable y por lo tanto la cabecera se rellena en el interfaz de salida del CPE.

### **2.3.3. Clasificación en Clases de Servicio**

En el momento en el que se fue a implementar el enrutamiento de tráfico teniendo en cuenta su prioridad se realizó un estudio de las clases de servicio presentes en la red. Existiendo las siguientes diferenciaciones:

Tráfico de Voz sobre IP (VoIP). En la actualidad dada la tendencia de la tecnología y sus beneficios en el mundo empresarial se está procediendo a realizar un despliegue masivo en las ubicaciones. Se marca con “DSCP EF”.

Tráfico de vídeo. El tráfico de vídeo interactivo o en tiempo real (como por ejemplo el vídeo de videoconferencia) tiene unos requerimientos de calidad tan exigentes como el tráfico de voz, en cuanto a bajas pérdidas, latencia y jitter, sin embargo, al ser su patron tan distinto y requiere mas ancho de banda siempre se marcará con prioridades ligeramente inferiores a la voz. Se marca con “DSCP CS5” para encuadrarlo en la clase de servicio de tiempo-real. El tráfico de vídeo en streaming no es tan sensible al retardo ni al jitter porque utiliza buffering. Es por ello mucho menos exigente en cuanto a garantías de calidad y se puede equiparar al tráfico de transferencias masivas de archivos. Se marca con “DSCP CS4”.

Tráfico de Datos Corporativos. El tráfico de datos es muy heterogéneo por definición. Puede ser tráfico TCP o UDP, sensible al retardo o no, estable o a ráfagas y sus requerimientos de ancho de banda varían en función de la aplicación. Se pueden distinguir dentro del mismo cuatro tipos de tráfico en cuanto a sus requerimientos.

Tráfico de Aplicaciones Críticas. Este tipo de aplicaciones no son muy sensibles al retardo o a las variaciones de este parámetro, pero sí son aplicaciones muy importantes para el negocio de la compañía, por lo que el tráfico asociado a estas debe tener una serie de garantías al atravesar los enlaces del backbone. La marca para este tipo de tráfico es “AF31”. En el caso de ADIF este tráfico se corresponde, por ejemplo, con la venta de billetes y por tanto deberá ser detectado y marcado para ser cursado con alta prioridad.

Tráfico Interactivo. Corresponde al tipo de aplicaciones cliente-servidor y mensajería interactiva, como por ejemplo SAP o clientes de mensajería online, donde el usuario espera a que se complete la operación antes de proceder. Se marca como “DSCP AF21”.

Transferencias Masivas. Comprende el tráfico de aplicaciones no interactivas y relativamente insensibles a pérdidas que típicamente discurren durante un largo período de tiempo. Pertenecen a esta clase el tráfico FTP, SMTP, operaciones de backup, distribución de contenidos y en general cualquier aplicación corriendo en background. A este tipo de tráfico se le debe garantizar un ancho de banda moderado y restringido, pues corresponde a aplicaciones muchas veces cruciales para la empresa, pero puede causar la inanición de las demás aplicaciones de no ser restringido. Este tipo de tráfico se marca como “DSCP AF11”.

**Tráfico Best-Effort.** Constituye la clase por defecto. En principio todas las aplicaciones de datos se consideran Best-Effort a no ser que sean específicamente designadas para tener un trato preferencial. De acuerdo con esta filosofía, en todas las redes será necesario reservar un ancho de banda adecuado para este tipo de tráfico, pues engloba a la mayoría de las aplicaciones que corren por la red y la reserva de un ancho de banda insuficiente afectará directamente a las aplicaciones de los usuarios. Este tráfico tiene la marca por defecto, es decir “DSCP 0”.

**Tráfico de Protocolos de Enrutamiento.** El tráfico de los protocolos de enrutamiento se marca automáticamente con precedencia IP 6 (“DSCP CS6”).

**Tráfico de Gestión de la Red.** Es el tráfico cuyo origen y destino es el equipamiento de red y los sistemas de gestión de la red. Este tráfico se marca con “DSCP CS2”. Es un tráfico muy importante, ya que permite la administración y la operación de la red, y el acceso a cualquier equipo.

#### 2.3.4. Marcado de tráfico

Una vez clasificados los tipos de tráfico pasamos a describir las distintas clases de servicio que se definen según los requerimientos de ADIF. Para que la configuración y operabilidad de la red sea manejable, se debe reducir al máximo el número de clases definidas en la red, siempre garantizando los niveles de calidad requeridos para cada tipo de tráfico. De esta manera se clasifica y marca los diferentes tipos de tráfico de la red en entrada (CE o PE), pero para la aplicación de las políticas en el backbone de la red de ADIF (PE – P) se definen cinco clases de servicio que se detallan a continuación.

**Tráfico tiempo-real:** Estará constituido por el tráfico de voz (“DSCP EF”) y el tráfico de vídeo interactivo (“DSCP CS5”). Estos valores se mapean en MPLS EXP como 5. En términos de ancho de banda se reserva un 15 por ciento del ancho de banda total de los enlaces.

**Tráfico de vídeo:** Esta constituido por el tráfico de vídeo en streaming (“DSCP CS4” – “MPLS EXP=4”) que es tráfico UDP. Como en el caso de ADIF el vídeo en streaming supone un porcentaje pequeño del tráfico en la red se le reserva un diez por ciento del ancho de banda de los enlaces.

**Tráfico datos-críticos:** A esta clase de servicio pertenecen las aplicaciones críticas comentadas anteriormente. El tráfico asociado a esta clase será marcado con “DSCP AF31”, es decir, precedencia tres con un valor de EXP igual a tres en el backbone MPLS. También pertenece a esta clase el tráfico de gestión de los propios routers de la red. Al tráfico de gestión se le asocia automáticamente un valor de DSCP de CS2 (16), equivalente a un valor de precedencia IP de dos (mapeado a un valor idéntico en el campo EXP de la etiqueta MPLS). Además se engloba en esta clase el tráfico de Routing (“DSCP CS6” – “MPLS EXP = 6”). Al suponer el mayor volumen de tráfico de la red se reserva el 45 por ciento del ancho de banda para este tipo de tráfico.

**Tráfico default (estandar):** Pertenece a esta clase todo el tráfico que no se haya englobado en ninguna de las clases anteriores. Es marcado con los valores por defecto de DSCP, Precedencia y EXP, es decir, todos los bits serán cero. En este apartado se reserva un 25 por ciento del ancho de banda del enlace.

**Tráfico descartable:** Pertenece a esta clase de servicio las aplicaciones de transferencia masiva como FTP, tráfico peer-to-peer y el tráfico indeseado que se corresponde con las aplicaciones de entretenimiento. Estas aplicaciones serán marcadas con el valor “DSCP CS1” que se mapea a un valor uno de precedencia y EXP. Este tráfico se permite en la red, pero en períodos de congestión su ancho de banda es restringido. Se reserva el cinco por ciento del ancho de banda de los enlaces.

A manera de resumen se añade la figura 2.3, en la cual se puede ver de manera concisa las clases de tráfico y su marcado tanto a nivel tres como a nivel dos.

Tráfico	Marcado a nivel 3			Marcado a nivel 2
	Precedencia IP	PHB	DSCP	COS/MPLS EXP
Protocolos de routing	6	CS6	48	6
Voz de VoIP	5	EF	46	5
Video Interactivo	4	AF41	34	4
Video Streaming	4	CS4	32	4
Aplicaciones críticas	3	AF31	26	3
Tráfico Interactivo	2	AF21	18	2
Gestión de Red	2	CS2	16	2
Transferencias Masivas	1	AF11	10	1
Tráfico indeseado	1	CS1	8	1
Tráfico Best-Effort	0	Default	0	0

Figura 2.3: Clasificación y Marcado de Tráfico

### 2.3.5. Conexión Física entre Nodos

De igual manera que la red tiene una estructura jerárquica, los circuitos que la soportan también tienen una estructura jerárquica.

Los circuitos de Red Troncal, utilizan tecnología SDH y DWDM; son utilizados para unir: los CZ entre ellos, los CZ con los CI y los CI entre ellos.

Para la interconexión de la Red Troncal con los CU se utilizan diversas tecnologías; la elección del medio físico para la conexión depende de diversos factores, como puede ser la distancia desde la ubicación de la Red Troncal a la ubicación de CU o las características geográficas. La práctica usual es establecer una conexión principal acompañada de una de backup, se permite casi cualquier combinación de las siguientes tecnologías:

- Fibra óptica monomodo (mm). Utilizando para ello el estándar 1000BASE-LX/LH.
- Fibra óptica multimodo (MM). A evitar, ya que no está soportada por los equipos habituales de mantenimiento. Se utiliza el estándar 1000BASE-SX.
- UTP categoría 5, 5e ó 6, donde la distancia lo permite (< 100 m). En este caso 100/1000BASE-T.
- Circuitos PDH de 2 Mbps. Trama E1 estructurada o sin estructurar entregada en interfaz V.35 o G.703.
- Circuitos PDH/SDH de  $n \times 2$  Mbps, o VC3. Entrega en Ethernet 10/100BASE-T.
- Cable de pares o de cuadretes. En este caso se utilizan módem G.SHDSL para poder llevar circuitos Ethernet a más de 100 metros sobre este medio.
- Conexión a red móvil 3G/4G.
- Conexión a Red de Operador de Telecomunicaciones externo mediante circuitos punto a punto o servicios VPN de nivel 2 y 3 (tipo Macrolan de Telefonía o VPLS de Vodafone). En este caso el interfaz será 100/1000BASE-T ó 1000BASE-LX/LH.

Los equipos y terminales finales de usuario siempre se conectan en Ethernet (IEEE 802.3) 10/100BASE-T mediante un cable UTP de categoría 5, 5e ó 6 a un switch denominado LU (LAN de Usuario). Estos switches se conectan en diferentes topologías, preferiblemente en árbol o sino en cascada con un número máximo de saltos hacia el equipo que da la salida a la red troncal, que se denomina RU (Router de Usuario) ó SU (Switch de Usuario). Los medios físicos empleados para ello son:

- Cable de stack propio de cada suministrador.
- Fibra óptica mm monomodo. Utilizando para ello el estándar 1000BASE-LX/LH.
- Fibra óptica MM multimodo. A evitar, ya que no está soportada por los equipos habituales de mantenimiento. Se utiliza el estándar 1000BASE-SX.
- UTP categoría 5, 5e ó 6, donde la distancia lo permite ( $< 100$  m). En este caso 100/1000BASE-T.
- Cable de pares o de cuadretes. Como en el caso de los circuitos de red de acceso se utilizan módem G.SHDSL para poder llevar circuitos Ethernet a más de 100 metros sobre este medio.

### 2.3.6. Topología hasta CU

En la figura 2.4 se puede ver un ejemplo de conexión de CU a Red Troncal mediante circuitos sobre par de cobre (PPL). En el CU se utilizan estos mismos circuitos para llegar a ubicaciones distantes (distancias superiores a 100 metros). Se trata del diseño que se ha venido utilizando en la mayor parte de la red hasta la introducción de la fibra óptica. En CUs con bajo requerimiento de ancho de banda o imposibilidad de montar fibra, se sigue utilizando este modelo. Este mismo esquema sería válido para el uso de transmisión con circuitos PDH.

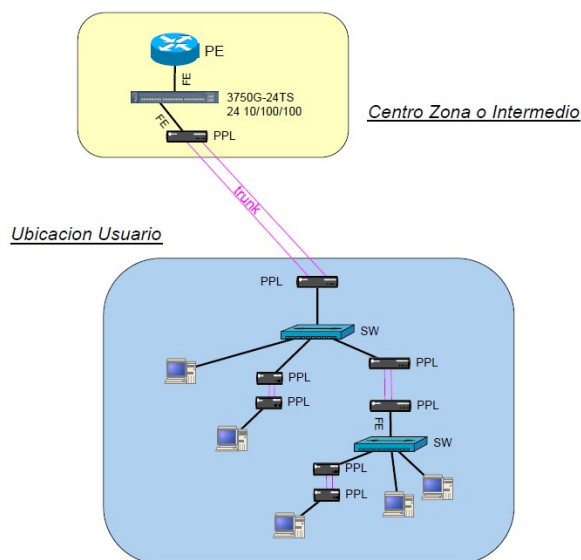


Figura 2.4: Acceso principal mediante PPLs

La figura 2.5 representa el prototipo de conexión desde la Red Troncal hasta un CU mediante fibra óptica. Como se ha mencionado con anterioridad suelen ser fibras monomodo. En la actualidad, debido a al aumento del ancho de bando requerido en muchos de los CU, se están migrando a este tipo de conexión.

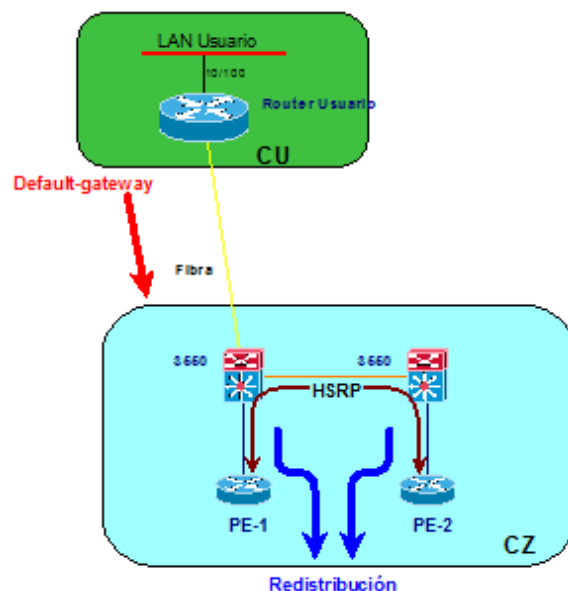


Figura 2.5: Acceso principal por fibra óptica

Actualmente el backup de los CU se están realizando mediante conexión 3G/4G. Se hace mediante tarjetas SIM de Vodafone (vigente proveedor de comunicaciones móviles) incorporadas a los routers. En la figura 2.6 se puede encontrar un ejemplo de un CU con backup 3G/4G.

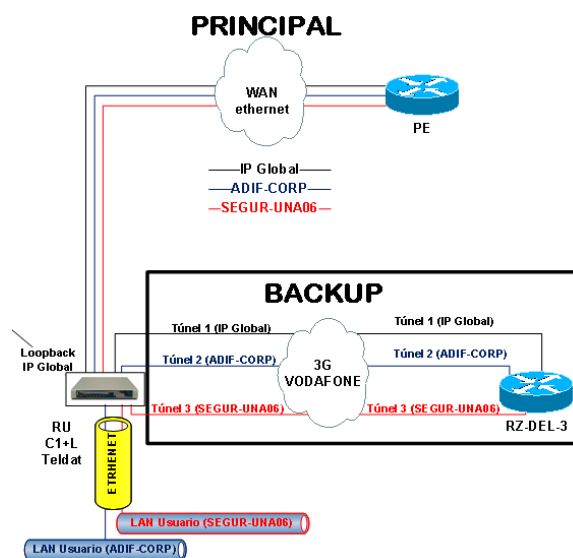


Figura 2.6: Ejemplo de red con backup 3G/4G

Si el lector estuviera interesado en informarse en el resto de topologías utilizadas para conectar la Red Troncal con un CU, debería acudir al anexo A, en el cual se esquematizan todos los modelos implementados en la Red IP de Sistemas de Información de ADIF.



## **2.4. Conclusión**

---

En este apartado se ha expuesto de manera generalizada la red IP de Sistemas de Información de ADIF, identificando los servicios que proporciona tanto a clientes como a usuarios, haciendo hincapié en la tecnología y las topologías utilizadas.

En el siguiente capítulo se van a utilizar los conceptos y tecnologías expuestas para desarrollar una solución válida para dotar de comunicaciones a una nueva estación de Cercanías en la localidad de Madrid.



# 3

## Diseño de la Solución

### 3.1. Introducción

---

El objetivo de este capítulo es analizar la petición de servicio de Renfe que como cliente transmite a ADIF y una vez identifica su viabilidad sentar las bases de un diseño que satisfaga esta petición y a su vez esté de acuerdo con el catálogo de servicios de la organización.

En este capítulo no se hará un diseño completo de la solución solo se sentaran las bases del mismo identificando la topología a usar, tipo de cableado y hardware requerido.

### 3.2. Petición de Servicio

---

Para poder ver si el despliegue de esta nueva infraestructura cae dentro de los servicios proporcionados por ADIF, hay que analizar la petición realizada por Renfe (empresa encargada de la explotación de la estación) en la herramienta ITIL instalada dentro de la organización. La petición es la siguiente:

- **Zona:** Comunidad de Madrid
- **Grupo de localidades:** Madrid
- **Localidad:** Madrid
- **Dependencia:** Nueva estación Cercanías
- **Datos del elemento de red más cercano:** Chamartín
- **¿Se necesita material propio?** Sí
- **Velocidad:** Por defecto
- **Comentario:** Se solicita el alta de un nuevo Centro de Usuario, que se está construyendo en el municipio de Madrid.

### **3.3. Análisis de la Petición**

---

La instalación y mantenimiento de un nuevo CPE dentro la Red IP de Sistemas de Información de ADIF se encuentra dentro del catálogo de servicios mantenido por la organización. La ubicación de la nueva estación sería en la zona metropolitana de Madrid, así que no sólo hay accesibilidad completa sino que su ubicación es cercana a uno de los nodos principales de la red (Chamartín), de la que a priori dependerá el nuevo CU.

Por lo tanto hay completa viabilidad para poder proseguir con la instalación del equipamiento necesario por parte de ADIF para mantener un nuevo CPE.

### **3.4. Diseño**

---

Una vez identificada la viabilidad de la petición se procede a identificar las necesidades de este emplazamiento.

Se trata de la inclusión de un nuevo CU dentro de la infraestructura actual, esta nueva ubicación se trata de una estación de Cercanías, por lo cual los servicios fundamentales que se deben prestar de cara al usuario serían: venta de billetes, control de accesos, megafonía y teleindicación.

El personal que trabaja en la estación utilizara aplicaciones ofimáticas y telefonía sobre VoIP a estos servicios hay que añadir el de señalización para los trenes, el cual también se presta mediante IP.

Como se puede ver no hay necesidad de aplicaciones multimedia en tiempo real como pudiera ser videoconferencia. La seguridad en la estación se trata de un servicio de CCTV el cual es monitorizado por el personal de seguridad de la estación, sin la necesidad de transmitir los datos a un emplazamiento remoto.

Teniendo en cuenta toda esta información se puede ver que las necesidades de este CU las que se encuentran en la gran mayoría de las estaciones de Cercanías. Pudiéndose tomar como referencia uno de los diseños previos.

La topología a implementar será la expuesta en el apartado 2.3.6 en concreto la mostrada en la figura 2.6.

Para la conexión WAN dadas las necesidades del centro no se necesita un gran ancho de banda por lo cual la conexión desde el PE se realizara utilizando tecnología SDH/PDH con una velocidad de 4Mbps.

### **3.5. Conclusión**

---

En este capítulo se han identificado las necesidades del nuevo CU lo cual es fundamental para realizar una planificación para el proyecto y dividirlo en tareas que tengan objetivos claros marcados tanto en tiempo como en recursos a utilizar.

En el siguiente capítulo se procederá a realizar esta planificación utilizando metodología basada en diagramas de Gantt.

# 4

## Planificación

### 4.1. Introducción

---

En este capítulo se va a desarrollar un plan estructurado de como se va a ejecutar la implementación de la red. Se utilizaran métodos de diseño de proyectos basados en subdivisión en tareas.

Se hará un plan completo utilizando diagramas de Gantt y se formulará un presupuesto que cubra todas las necesidades del mismo.

Nos centraremos en la parte de la red a implementar por ADIF, ya que todos los sistemas informáticos de Renfe son desarrollados e implementados de manera transparente, autónoma y su operatividad final depende de la conectividad facilitada por ADIF.

### 4.2. Identificación de Tareas

---

La instalación de un nuevo Centro de Usuario conlleva una serie de pasos que aseguran su viabilidad y correcta instalación. Todos los pasos se pueden subdividir en tareas independientes simplificando su ejecución.

En la figura 4.1 se ha creado un descomposición jerárquica orientada a entregables utilizando una Estructura de Descomposición del Trabajo o EDT.

En condiciones normales con el fin de agilizar el trabajo cada tarea sería asignada a la persona más indicada para realizarla. En esta ocasión todas las tareas van a ser realizadas por el autor del documento siendo supervisadas por el tutor del mismo.

Como ya se ha mencionado un EDT se enfoca a creación de tareas que generan entregables. En el capítulo 5 se detallan todos los pasos seguidos para completar cada una de las tareas y los entregables generados.

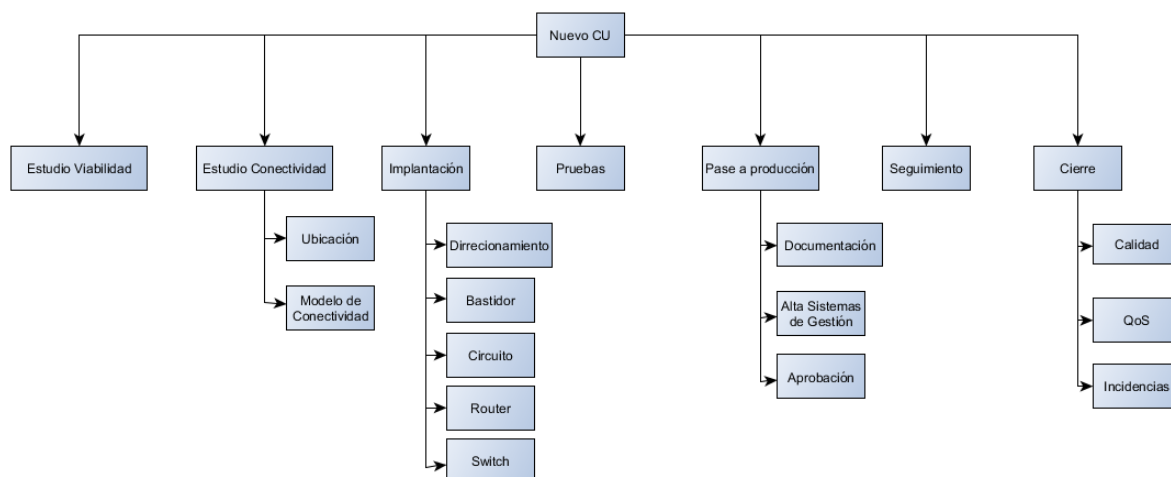


Figura 4.1: Estructura de Descomposición del Trabajo

### 4.3. Planificación de las Tareas

Una vez identificadas las tareas queda asignarles una duración e identificar el orden por en el cual se deben ejecutar, esto se debe a que por ejemplo, no se puede pasar el Centro de Usuario a producción hasta que la implantación del mismo este completa y se hayan realizado las pruebas pertinentes.

Para realizar la planificación se ha utilizado un Diagrama de Gantt cuyo objetivo es exponer el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo total determinado.

En la figura 4.2 se puede ver el diagrama de Gantt en el cual se muestra el orden cronológico de las tareas y la duración que cada una de ellas. Las barras en rojo identifican el camino crítico, es decir, la secuencia de tareas cuyo tiempo de ejecución permite que el resto del proyecto pueda llevarse a cabo en tiempo, respetando las relaciones entre las tareas que la componen.

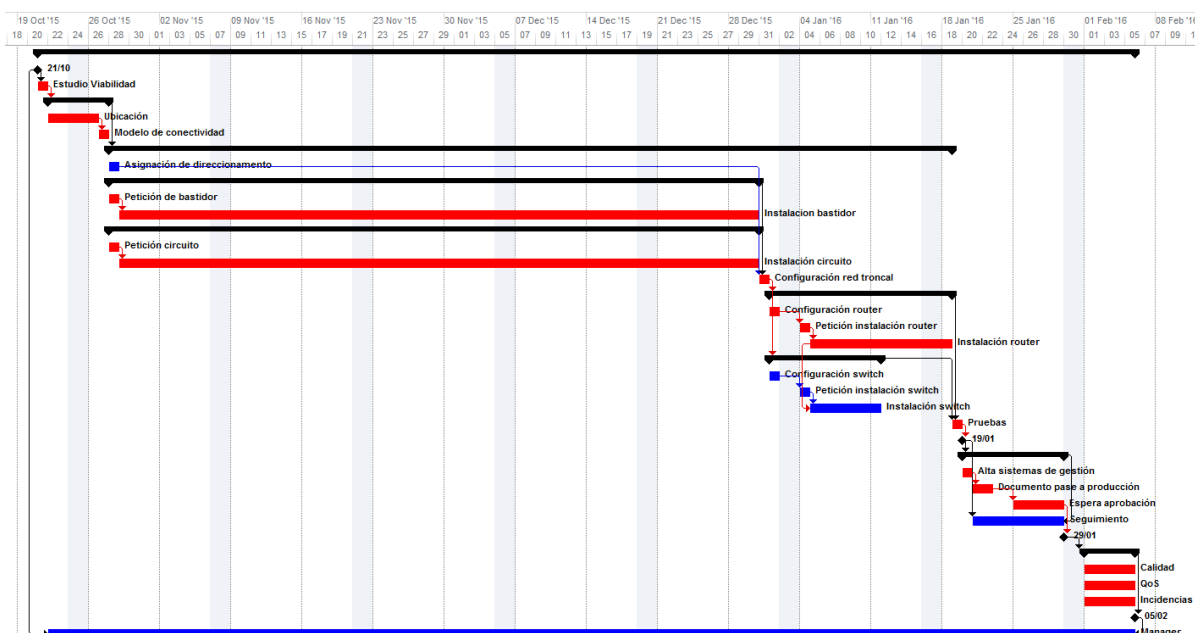


Figura 4.2: Diagrama de Gantt

Para la elaboración del diagrama se han tomado los tiempos medios de las actividades a ejecutar, suponiendo que los recursos tanto propios como externos están disponibles en el momento en que se necesitan.

## 4.4. Recursos

---

Para la completación de cada tarea se deben asignar recurso tanto materiales (Router, Switch...) como humanos. Por lo tanto queda identificar todos los recursos que se van a necesitar para el proyecto y asignarlos a las tareas que corresponden. Así no solo se tiene un control de todos los recursos que se van a necesitar sino también un planificación de para cuando es necesario que estén disponibles.

### 4.4.1. Recursos Humanos

Como ya se ha mencionado para este tipo de proyectos tomarían parte diversas personas de las cuales se puede identificar tres roles fundamentales:

- **Jefe de Comunicaciones:** Responsable de la supervisión y la correcta consumación del proyecto. Se calcula que el coste por horas es de 40 €.
- **Técnico de Comunicaciones:** Responsable de la parte técnica del proyecto, es decir tanto del diseño como de la implementación. Se calcula que el coste por horas es de 35 €.
- **Mando Intermedio:** Rol más enfocado a la parte administrativa, como puede ser la creación de documentación y utilización de las herramientas de gestión. Se calcula que el coste por horas es de 30 €.

Aunque todas las tareas vayan a ser ejecutadas por una misma persona se va a planificar y calcular los costes asumiendo que son llevadas a cabo por la persona correspondiente.

### 4.4.2. Recursos Físicos

Se trata de todo el material que se va a utilizar para la instalación del nuevo Centro de Usuario. Esto engloba todos los equipos (Router y Switch) y el cableado necesario entre y hasta los equipos.

En la tabla 4.1 se puede encontrar todo el material que se utilizara y el precio al que se han obtenido.

Producto	Precio	Mantenimiento
Teldat V	410,00 €	-
Cisco 2960	270,60 €	-
Bastidor	1025,03 €	-
Alta Circuito Digital	1159,80 €	277,63 €/mes
Ethernet (~ 50 m)	75,00 €	-
Ethernet (~ 5 m)	5,00 €	-
Tarjeta SIM	3,00 €	5,00 €/mes

Tabla 4.1: Recursos Materiales, Precio y Mantenimiento

Cabe destacar hay productos como el cableado digital o la tarjeta SIM que tiene mantenimiento mensual. La primera es el alquiler de la línea y la segunda es la tarifa preestablecida con el proveedor de servicios (Vodafone) que se aplica a cualquier Router de Usuario.

Por último cabe mencionar el coste de mantenimiento de la red troncal, que es repercute en todos los CUs a los que da conexión. Es aproximadamente unos 1.250,00 € anuales.

### 4.4.3. Asignación de Recursos

Como ya se vio en la figura 4.2 se han planificado las tareas de manera cronológica y asignándolas una duración determinada dependiendo del tiempo que llevará ejecutarlas.

Con el fin de completar la planificación queda asignar a cada una de las tareas los recursos pertinentes y así hacer un cálculo aproximado del costo. En la figura 4.3 se puede ver el diagrama de Gantt con todos los recursos asignados.

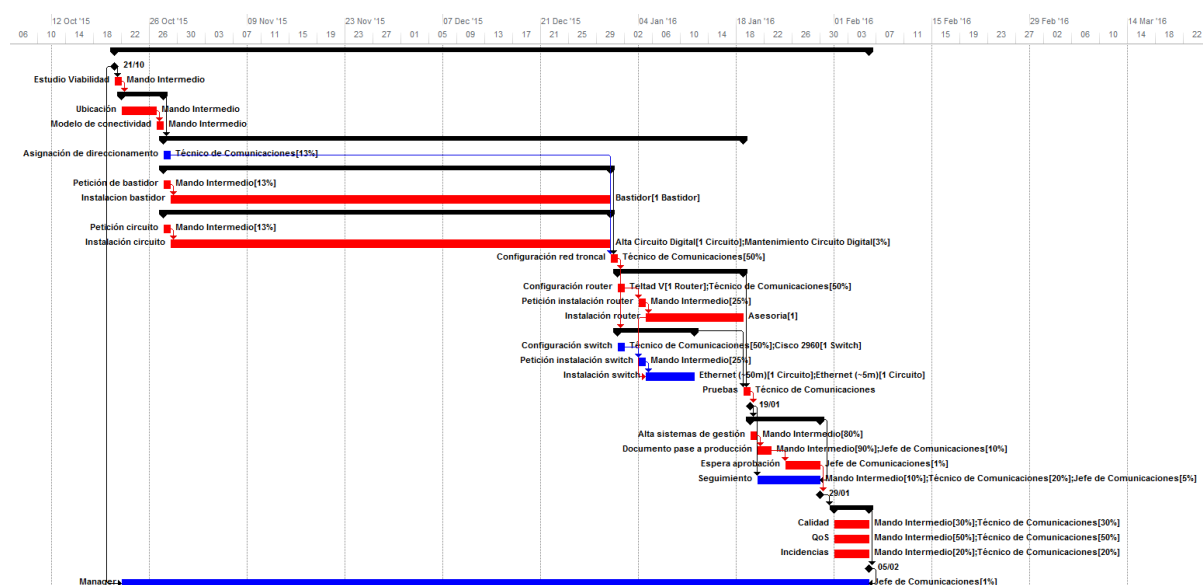


Figura 4.3: Diagrama de Gantt con asignación de recursos

## 4.5. Presupuesto

Una vez declarados los recursos y asignados a cada tarea, se puede calcular el coste total de cada una de ellas, teniendo en cuenta cuántas horas van a ser necesarias para completarla (coste humano) y los recursos físicos que se utilizarán para ellas.

Para calcular el coste de cada una de las tareas se tiene en cuenta la cantidad y tipo de recursos humanos que se necesitan para completarla, y si fuera necesario se le añade el coste de cualquier recurso físico que fuera a necesitar. Por ejemplo, para la configuración del Router, se necesita crear una configuración, importarla al Router y hacer las pruebas pertinentes. Por lo tanto para esa tarea será necesario no sólo computar las horas utilizadas por el técnico para la configuración y las pruebas sino también el Teldat V utilizado.

En la figura 4.4 se muestra una gráfica en la que aparece el coste total que cada tarea tiene en el proyecto. Como era de esperar, la implantación es la que más impacto económico tiene, esto se debe a que no sólo en ella se utilizan todos los recursos físicos, sino que es la que más horas requiere.



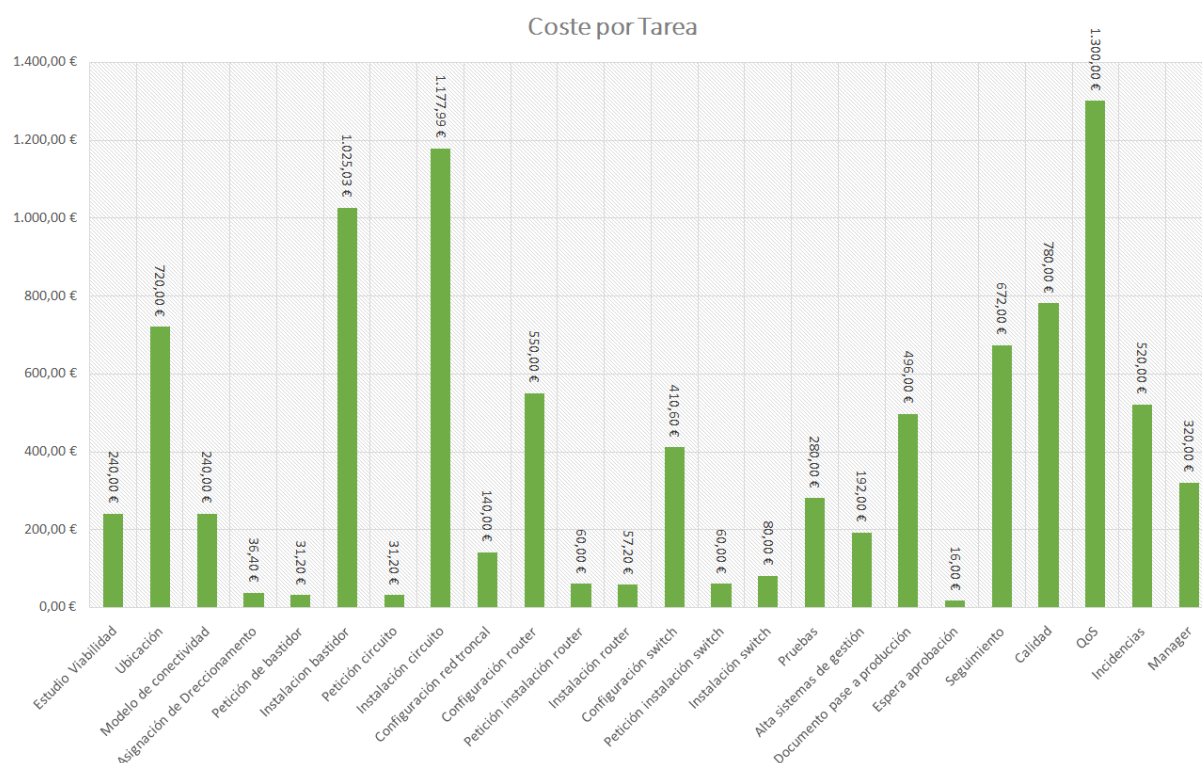


Figura 4.4: Resumen de coste por Tarea

Con la planificación realizada, y suponiendo que no hay inconvenientes a la hora de la realización, el coste total incluyendo equipamiento y trabajo por parte del equipo es de: 9.435,62 €.

Ya se ha mencionado antes que un CU de estas características requiere un mantenimiento anual, en este caso de alquiler de circuito y contrato de datos con Vodafone. Mirando los datos expuesto en la tabla 4.1, se puede observar que el coste de mantenimiento del CU seria de 3.391,56 € anuales.

## 4.6. Conclusión

---

En esta sección del documento, se ha mostrado un resumen detallado de la planificación. En el anexo B se pueden encontrar el resto de los detalles junto con gráficas, tablas y diagramas que lo documentan de manera más extensa.

Se ha desarrollado un plan completo de implementación teniendo en cuenta todas las tareas necesarias para crear un nuevo Centro de Usuario y se ha calculado un presupuesto inicial para la ejecución del proyecto.

En el siguiente capítulo se va a desarrollar y documentar el desarrollo de las tareas expuestas.



# 5

## Implementación

### 5.1. Introducción

---

En este capítulo se van a documentar todas las tareas definidas durante la fase de planificación (expuestas en la figura 4.1).

Se va a hacer especial hincapié en las tareas que se encuentran dentro de la fase denominada como *implantación*, esto se debe a que son aquellas que tienen más interés tecnológico y por lo tanto se encuentran más identificadas con la figura del Ingeniero de Telecomunicación.

### 5.2. Estudio de Viabilidad

---

De la fase de diseño (véase capítulo 3) se puede extraer que por parte de ADIF hay completa viabilidad para montar un nuevo Centro de Usuario en la ubicación especificada, en esa fase se decidió que la conexión WAN sería mediante un circuito SDH de 4Mbps.

Una vez contactado con el proveedor interno sobre la posibilidad de establecer dicha circuito nos confirman la viabilidad de instalación la cual es confirmada por el personal encargado de la construcción de la estación.

Asimismo por parte del departamento se encuentran disponibles los recursos tanto humanos como físicos para la instalación del nuevo Centro de Usuario.

### 5.3. Diseño de Conectividad

---

Una vez vista la viabilidad de dar conectividad al nuevo Centro de Usuario mediante un circuito SDH y estudiada la posibilidad de instalar equipamiento de comunicaciones propio de ADIF, se procede a la ejecución de las tareas relativas al modelo de conectividad.

Estas tareas se basan en la creación de un diagrama de red completo para el Centro de Usuario y el estudio de la ubicación que tendrán los equipos.

### 5.3.1. Modelo de Conectividad

Confirmada la viabilidad de conectividad. Se debe establecer el equipamiento a instalar, como ya se ha comentado tanto en el capítulo 2 y 4 el equipamiento que normalmente se establece en un nuevo CPE es un Router conectado al PE más cercano y seguido de un Switch cuyo fin es conmutar circuitos LAN.

Conforme a la disponibilidad actual de equipos para el modelo de conectividad elegido, el Router será un Teldat V y el Switch un Cisco 2960. Como ya se ha comentado antes, el PE más cercano es el de Chamartín.

Siguiendo los procedimientos expuestos en el anexo D a este nuevo Centro de Usuario le corresponde el identificador: *CU200-58*. Teniendo en cuenta toda la información expuesta, se genera el diseño de red expuesto en la figura 5.1.

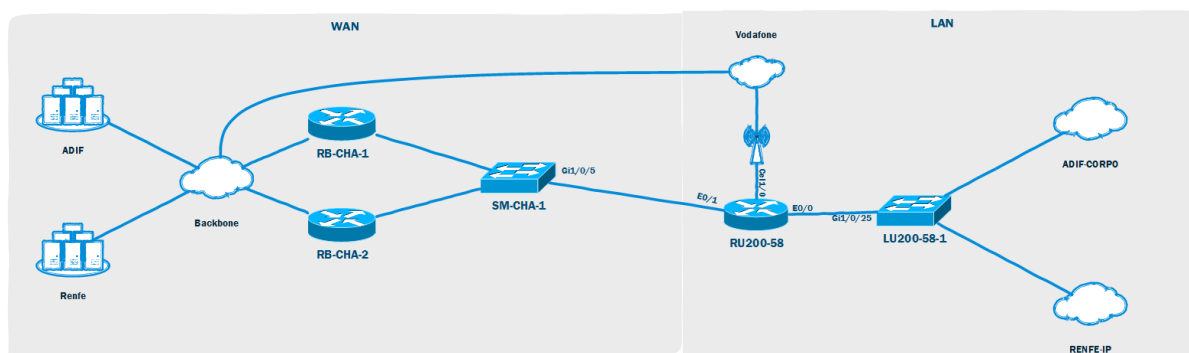


Figura 5.1: Diseño de red para CU200-58

Como se puede ver el diseño sigue el estándar característico de un Centro de Usuario para una estación de Cercanías, conectando el RU al conmutador de redes WAN (SM), que a su vez se conecta a los dos Routers de Backbone los cuales funcionan en paralelo (usando HSRP) para asegurar redundancia.

La conexión desde el nodo hasta el CU se hace mediante un circuito de 4 Mbps utilizando tecnología SDH la cual llega a la estación mediante un equipo de transmisión y desde él se conecta por un cable UTP al RU. Hasta la actualidad, dado el tráfico WAN generado por una estación, dicha velocidad de conexión es suficiente aunque una vez instalado se estudiará la necesidad de subir la velocidad de transmisión.

Tanto el Router como el Switch se instalarán en el mismo bastidor. Serán conectados entre ellos mediante un cable UTP.

### 5.3.2. Ubicación

Para poder completar el estudio de conectividad, hay que establecer la ubicación de los equipos de comunicaciones dentro de la estación e identificar de qué manera se le va a dar servicio a Renfe y por donde va a llegar el circuito desde el nodo, el cual dará servicio a toda la estación.

En la figura 5.2 se puede ver la disposición completa de la estación (accesos, vías, cuartos, aseos...). Los cuartos a los cuales se les va a prestar más atención en este proyecto con estos marcados como ocho y doce, ya que se tratan de los cuartos de comunicaciones de ADIF y Renfe (respectivamente).

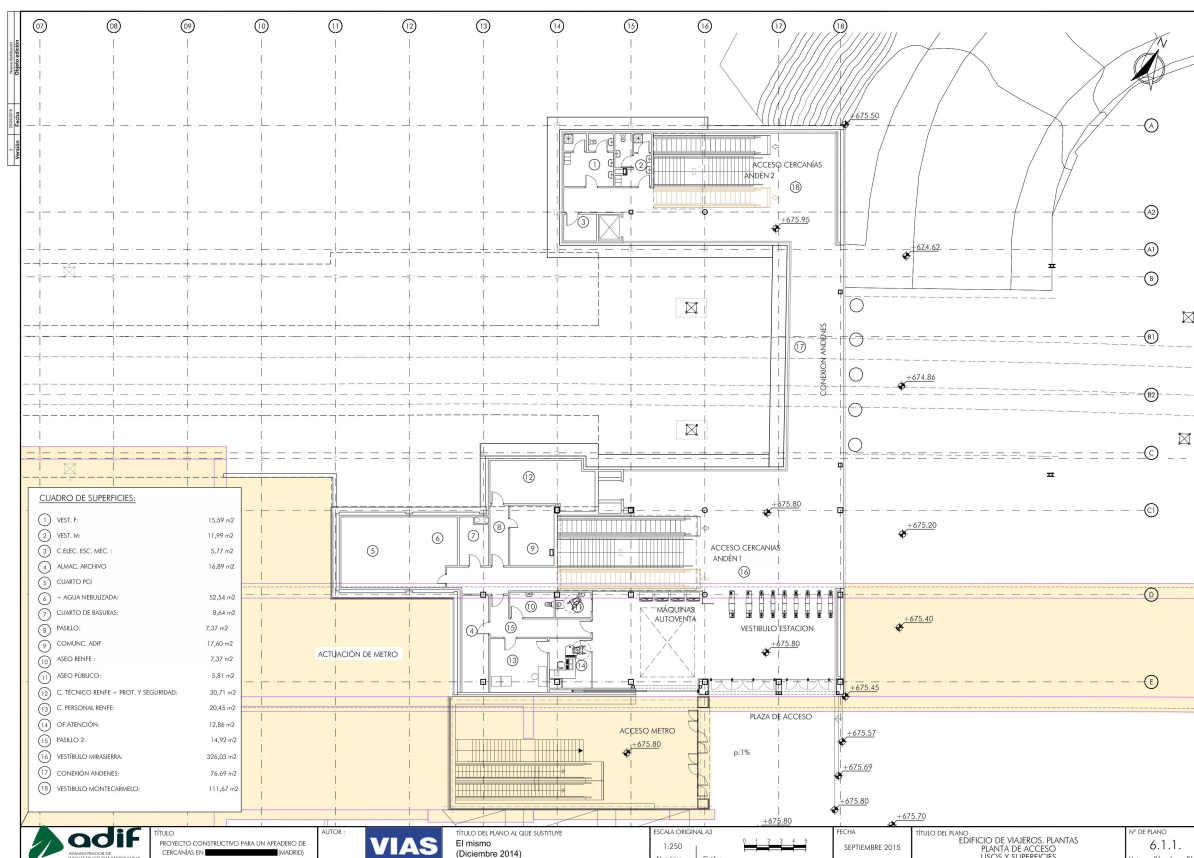


Figura 5.2: Planos de la estación de Cercanías

En la figura 5.3 se puede ver con más detalle la disposición de ambos cuartos. En el cuarto de ADIF será en el que se despliegue todo el equipamiento que da servicio a la estación, es decir el bastidor donde irán tanto el Router como el Switch de Usuario. Asimismo el circuito SDH proveniente del nodo tendrá su terminación en este mismo cuarto.

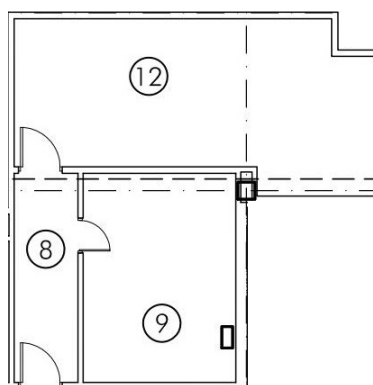


Figura 5.3: Cuartos de Comunicaciones

Por parte de Renfe, todo su equipamiento irá en su propio cuarto, en él se incluyen servidores de señalización, control de accesos, megafonía, venta de billetes y todos los servicios que debe proporcionar una instalación de estas características.

La conexión entre los dos cuartos, se hará mediante dos cable UTP que se conectaran al Switch de Usuario, ubicado en el cuarto de ADIF.

## 5.4. Implantación

En esta fase de acuerdo con el diseño establecido y requisitos de viabilidad y conectividad, se documenta la implantación de todos los sistemas y equipos de comunicación de datos que harán funcionar la estación. Las tareas necesarias para realizarlo ya han sido establecidas en la fase de planificación.

### 5.4.1. Direccionamiento

Para un nuevo Centro de Usuario se reservan dos clases C, la par está destinada a direccionamientos para WAN y servicios especiales (seguridad, videoconferencia, Wi-Fi...) mientras que la impar se utiliza para la conectividad en la parte LAN del CU (ver anexo C).

La reserva de ambas clases se debe hacer en el servidor IPAM/DHCP, que en el caso de ADIF es un servicio proporcionado por Inflobox, este mismo servidor proporciona servicios de DHCP y DNS. La reserva es relativamente sencilla, en la figura 5.4 se pueden ver las dos clases reservadas.

		10.32.0.0/24	PROVISIONADO	0.7%		Chamartin	CU200-58	CZ2
		10.32.0.0/24	PROVISIONADO	0.3%		Chamartin	CU200-58	CZ2

Figura 5.4: Reserva de Clases C para CU200-58

Sabiendo las IPs que se van a utilizar en el CU, se puede actualizar el diagrama de red de la figura 5.1, añadiendo las direcciones que se van a asignar a cada elemento de red y dar el alta en DNS las IPs (loopback) asignadas al RU y al LU. En la figura 5.5 se pueden comprobar dicho esquema.

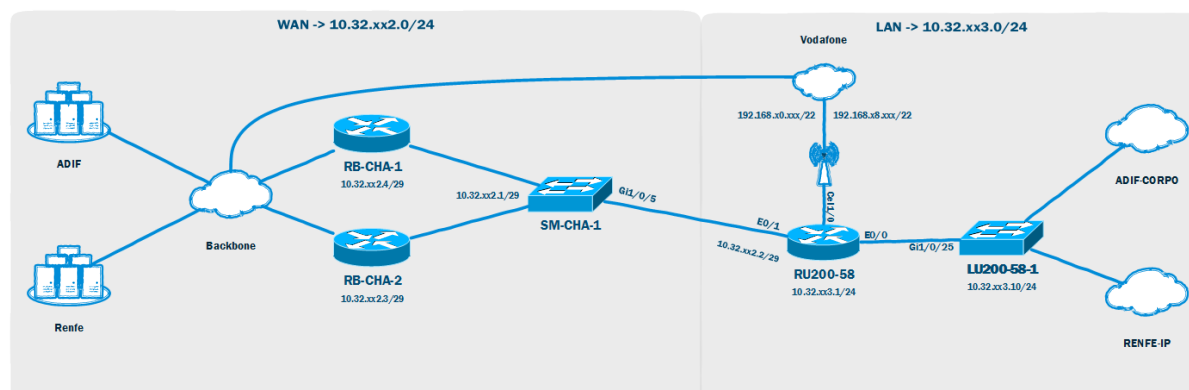


Figura 5.5: Diagrama de red actualizado para CU200-58

Para la configuración de la parte WAN, como se ha explicado tanto en el capítulo 2 y en el anexo C, la configuración del HSRP es esencial para los dos RB y en el Router de usuario.

Como se puede ver en la figura 5.5 el RB-CHA-1 tiene asignada la IP con ultimo octeto igual a cuatro de la clase par, por lo tanto será el equipo de backup para la conexión al Centro de Usuario. El RB-CHA-2 será el líder del HSRP llevando el último octeto de la clase par igual a tres.

La dirección virtual será aquella con el último octeto igual a uno de la clase par y por último la asignada al interfaz WAN del Router (ethernet0/0) de usuario es la que lleva el ultimo octeto igual a dos de la clase par. Todas las direcciones mencionadas para al WAN llevaran una máscara \29 (255.255.255.248).

Las direcciones de la parte LAN (clase C impar) tienen una asignación más simple, las primeras 17 (1–17) son reservadas para equipos propios de ADIF, ya sean servidores o equipos de comunicaciones. Para mantener la nomenclatura, la primera IP (último octeto igual a uno) es la que se le asigna al puerto LAN del Router (ethernet0/1). Al Switch se le asigna la IP con último octeto igual a diez de esa misma clase.

La conexión de Backup se hace mediante Vodafone a través de túneles 3G/4G (ver capítulo 2), que enlazan directamente con el CDP de ADIF. A los dos túneles que se van a montar, se les asignan direcciones de una clase B acordada con Vodafone para este propósito. En la figura 5.5 se muestran las IPs asignadas.

Como se puede ver la reserva de direccionamiento se hace de forma manual en vez de utilizando un servicio DHCP. Esto se debe a la necesidad de tener un control exhaustivo por el cual solo se reserva una IP o rango en el caso de ser demandado por el usuario.

Además del control de direccionamiento, también se implementa uno más directo sobre los equipos que se conectan a la red, ya que todos los puertos que no se vayan a utilizar se deshabilitan, impidiendo que se puede conectar ningún equipo a la red sin autorización.

#### **5.4.2. Bastidor**

El bastidor como en todas las construcciones de nuevas estaciones es instalado por la empresa encargada de la construcción. Dados los requerimientos de equipos a conectar (Router, Switch y modem) se trata de un bastidor de 12U con medidas de  $800 \times 600$ , en la figura 5.6, se puede ver un bastidor de esas medidas



Figura 5.6: Bastidor para CU200-58

#### **5.4.3. Circuito**

Como ya se ha comentado en apartado 5.3.1, la conexión entre el Backbone y el CU se hará mediante un circuito Ethernet de 4 Mbps utilizando tecnología SDH y durante las fases de pruebas y seguimiento se estudiará si se debe aumentar el ancho de banda del enlace. La conexión del Router al equipo de transmisión se hará mediante un cable UTP cobre categoría 6.

La instalación del circuito es llevado a cabo por el proveedor de servicios físicos, el cual es parte de ADIF y se le debe hacer una petición de instalación a través de la herramienta ITSM de la organización. En la figura 5.7 se encuentra la petición del circuito.

El destino del circuito es la ubicación del Router la cual será, según los planos mostrados en la figura 5.2, el cuarto con identificador igual a nueve.

Tarea (admitsm.dcsi.adif) -- Notas

Se solicita circuito eth de 4MB desde el puerto Gi1/0/5 del SM-CHA-1 hasta la futura ubicación del RU200-58 en la nueva estación de [REDACTED] que se está construyendo en el municipio de Madrid, en el Distrito de [REDACTED]. El edificio principal de la estación, donde están ubicados los cuartos de instalaciones y comunicaciones, estará ubicado en una parcela limitada por las calles [REDACTED] y [REDACTED].

Cancelar

Tipo: ALTA Esquema/Clase CMDB: AST:ConnectivitySegment

Servicio: Circuitos digitales Nivel 1: RED

Producto: Circuito 4 Mbps Ethernet; Nivel 2: CIRCUITO

Nivel 3: PAP ETHERNET

Contacto: Matrícula: [REDACTED] CECO: UNA001

Coordinador: Nombre: German [REDACTED] Teléfono: [REDACTED]

ID Ticket Servitel: 284061

Origen Destino

Provincia: MADRID 28

Dependencia: MADRID-CHAMARTIN 17000

Dirección: MADRID-CHAMARTIN

Equipo/Puerto: Gi1/0/5 del SM-CHA-1

Figura 5.7: Petición circuito para CU200-58

#### 5.4.4. Router de Usuario - RU200-58

El rol fundamental del Router de Usuario, es hacer de puente entre la parte WAN y LAN, creando dos redes completamente distintas en ambos extremos. Realizando funciones de routing, se incorpora a la infraestructura MPLS en función de CE, por lo tanto debe anunciarse mediante protocolos dinámicos (BGP) a su PE (Chamartín). Monitoriza su conexión principal ya que en el caso de caída del enlace físico debe activar la ruta de backup y enrutar todo el tráfico hacia ella.

Con el fin de poder gestionarlo para poder resolver incidencias o realizar cambios en remoto, al Router se le debe configurar acceso mediante Telnet siendo controlado mediante un servidor de autenticaciones. En el caso de ADIF, es un servidor TACACS+. Igualmente se configura el acceso SNMP al mismo desde la plataforma de gestión.

Para la realización del routing y la separación de los servicios y dado que la conexión va sobre un solo enlace, se implementan VLANs. Como se va a dar servicio tanto a equipos de Renfe como de ADIF y siguiendo la nomenclatura establecida en el anexo D.4, se crean dos VLAN para cada compañía, una para la parte WAN y otra para la LAN. Quedan definidas de la siguiente manera:

- **VLAN 158:** Para la parte WAN de ADIF, funcionando sobre el puerto ethernet0/0 y con subred IP: 10.32.xx2.2/29.
- **VLAN 458:** Para la parte LAN de ADIF, funcionando sobre el puerto ethernet0/1 y con subred IP: 10.32.xx3.1/24
- **VLAN 2158:** Para la parte WAN de Renfe, funcionando sobre el puerto ethernet0/0 y con subred IP: 10.255.xxx.xx/29
- **VLAN 2458:** Para la parte LAN de Renfe, funcionando sobre el puerto ethernet0/1 y con subred IP: 10.255.xxx.xx/24



Por seguridad no se facilita el direccionamiento completo. La configuración del Router se puede encontrar en el anexo E.2.

#### **5.4.5. Switch de Usuario - LU200-58-1**

La necesidad de instalar un Switch en la estación se debe a que el Router, aunque tiene un módulo capaz de hacer switching, sólo dispone de cuatro puertos Ethernet. Por lo tanto, debido al número de equipos que se conectarán originalmente, y la posibilidad de futura expansión, se requiere que haya infraestructura habilitada para dicha expansión. Teniendo en cuenta estos requerimientos se procede a instalar un Switch Cisco de 24 puertos, más otros dos preparados para realizar funciones de uplink.

Al tratarse de un Switch, la configuración es más simple que la del RU, debiéndose asignar al equipo su IP (10.32.xx.3.10/24) de gestión, su puerta de enlace predeterminada (10.32.xx.3.1/24) y todas las VLANs de la parte LAN (458 y 2458).

Se le asigna una VLAN a todos los puertos del Switch, en este caso los primeros 12 a la VLAN 458 (ADIF) y los 12 siguientes a la VLAN 2458 (Renfe). En un principio se pongan los puertos en *shutdown*, con el fin de que no se conecten máquinas o equipos sin el pertinente permiso.

Igual que para el Router, con el fin de poder acceder al Switch de manera remota para su gestión se debe configurar conexiones mediante Telnet, autenticada mediante servidor TACACS+ y SNMP.

La configuración del Switch se puede encontrar en el anexo E.3.

#### **5.4.6. Backbone**

Una vez configurada toda la parte de usuario, se tiene que dar servicio al nuevo CU desde la infraestructura existente. Según el diagrama de red dispuesto en la figura 5.1 existen tres equipos a los cuales se les debe añadir los parámetros de configuración pertinentes.

En los dos RBs de Chamartín se les debe configurar el HSRP, los EVC, las vecindades BGP [11], los subinterfaces y la subred IP. Como ya se ha hablado, el RB-CHA-2 será el líder de HSRP, por lo cual se le debe configurar una prioridad mayor en sus BDIs. En el apartado E.5 y E.6 se pueden ver los cambios completos realizados.

Mientras que para el SM de Chamartín, igual que para el LU, se deben declarar las VLAN en este caso las de la parte WAN (158 y 2158) y asignarlas al puerto pensado para el enlace (Gi1/0/5).

El procedimiento es similar al realizado para el LU, pero en este caso sólo se deben hacer cambios en la configuración actual y no crear una nueva. En el anexo E.4 se pueden encontrar en detalle los cambios realizados.

Por último queda dar de alta los túneles 3G/4G en los dos equipos responsables de estas tareas en ambos CPD de ADIF. Se trata dos rutas estáticas para cada una de las compañías (una para LAN y otra para WAN). En el apartado E.7 se puede ver en detalle la declaración de las rutas.

## 5.5. Pruebas

---

Una vez configurados e instalados todos los equipos se deben hacer las comprobaciones habituales para ver que las configuraciones aplicadas son las correctas y no existe ningún problema en acceder a ellos en remoto.

Antes de la instalación se realizan pruebas con los equipos en el laboratorio. En primer lugar se comprueba que los túneles 3G/4G se levantan de manera satisfactoria en los dos CPDs, asimismo se accede mediante Telnet al Router y Switch los cuales están interconectados entre ellos como lo estarán en ubicación.

Una vez instalados se realizan unas pruebas simples de PING, con el fin de que se pueden alcanzar los equipos.

Como se puede ver en la figura 5.8, se llega sin ningún problema a la parte WAN de la red con tiempos bastante razonables, esto indica que en un principio la velocidad del enlace es buena y la configuración realizada en el Backbone es correcta.

```
Haciendo ping a ru200-58.z1. [10.32.2.255] con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 10.32.2.255: bytes=32 tiempo=4ms TTL=251
Respuesta desde 10.32.2.255: bytes=32 tiempo=5ms TTL=251
Respuesta desde 10.32.2.255: bytes=32 tiempo=4ms TTL=251
Respuesta desde 10.32.2.255: bytes=32 tiempo=5ms TTL=251

Estadísticas de ping para 10.32.2.255:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 4ms, Máximo = 5ms, Media = 4ms
```

Figura 5.8: Prueba PING a RU200-58

Pudiéndose ver en la figura 5.9 que se llega sin ningún problema a la parte LAN de la red con tiempos de respuesta rápidos, esto indica que se puede acceder a la red de usuario sin ningún inconveniente.

```
Haciendo ping a lu200-58-1.z1. [10.32.3.10] con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 10.32.3.10: bytes=32 tiempo=5ms TTL=59
Respuesta desde 10.32.3.10: bytes=32 tiempo=5ms TTL=59
Respuesta desde 10.32.3.10: bytes=32 tiempo=5ms TTL=59
Respuesta desde 10.32.3.10: bytes=32 tiempo=5ms TTL=59

Estadísticas de ping para 10.32.3.10:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
    Mínimo = 5ms, Máximo = 5ms, Media = 5ms
```

Figura 5.9: Prueba PING a LU200-58-1

Después de realizar de manera satisfactoria estas pruebas, se procede al guardado de las configuraciones de ambos equipos en el directorio de ficheros de configuración. Una vez completado esto se puede decir que el CU se encuentra funcionando correctamente y está listo para poner en explotación.

## 5.6. Pase a Producción

---

Esta fase es completamente administrativa y se realiza con el fin de documentar los puntos claves de la red tanto en la base de datos como en los sistemas de motorización.

### 5.6.1. Documentación

Una vez instalados los equipos, y comprobado su funcionamiento, se debe documentar el Centro de Usuario en la base de datos y así tener una manera fácil y rápida de acceder a toda la información pertinente en el caso, de que se exista una avería o incidencia y así poder cumplir con el SLA requerido. También se usa en la provisión para ampliar los servicios existentes, y en las operaciones de optimización de red y finalmente en la baja.

Dicha base de datos forma parte de la herramienta ITIL de la organización (Remedy), la cual mediante el rellenado de formularios, añade los elementos de red a la base de datos, también proporcionando una manera jerárquica de representar los datos. Esta BBDD se denomina CMDB según la metodología ITIL.

Por lo tanto se añaden todos los elementos principales de la red: Router, Switch, Circuito y cables UTP de servicio a los equipos, rellenando formularios como los de la figura 5.10, una vez incluidos todos los equipos e información, la relación jerárquica entre ellos quedaría como se muestra en la figura 5.11.

Figura 5.10: Formulario de inclusión elementos CMDB

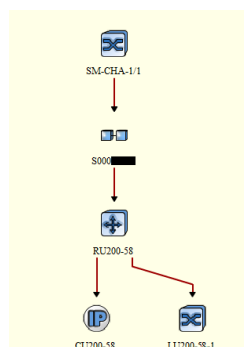


Figura 5.11: Relación de elementos en CMDB

### 5.6.2. Alta Sistemas de Gestión

Los Sistemas de Gestión se utilizan con el fin de monitorizar en tiempo real todo aquel equipo instalado que se encuentre en producción. De esta manera, se tiene información actualizada de ellos con el fin de comprobar que funcionan siguiendo todos los parámetros deseados. Además se configuran alarmas con el fin de que en el momento que uno de ellos tenga algún error o pierda conectividad se pueda solucionar en el menor tiempo posible de forma proactiva. Los sistemas utilizados en ADIF son:

- Pandora
- Nagios
- Cacti/WIM
- TeldatGes
- Cisco LMS

Igual que para el circuito se hace una petición de alta a través de la herramienta ITIL de la organización. La petición es muy parecido a la rellenada para el circuito (ver 5.7).

## 5.7. Cierre

---

Una vez completa la instalación y documentados todos los datos importantes del Centro de Usuario, se da por completada la fase de implementación y queda comprobar que se cumplen los requisitos especificados.

Para ello se analiza el tráfico entrante y saliente viendo que no se produzcan mesetas en las gráficas, lo cual indicaría que se debe aumentar el ancho de banda de la línea.

### 5.7.1. Calidad

Dada la naturaleza de los servicios involucrados en este Centro de Usuario, es esencial que las conexiones del Router tanto para la LAN como para la WAN tengan suficiente ancho de banda y en el caso de no tenerlo habría que aumentarlo, ya que cualquier pérdida de paquetes puede afectar de manera significativa al servicio prestado.

Para analizar la cantidad de tráfico en ambos nodos se utilizan las herramientas disponibles en la organización. En la figura 5.12 se puede ver la gráfica sacada para el tráfico de la parte WAN, es decir en el puerto Ethernet0/1 del Router.

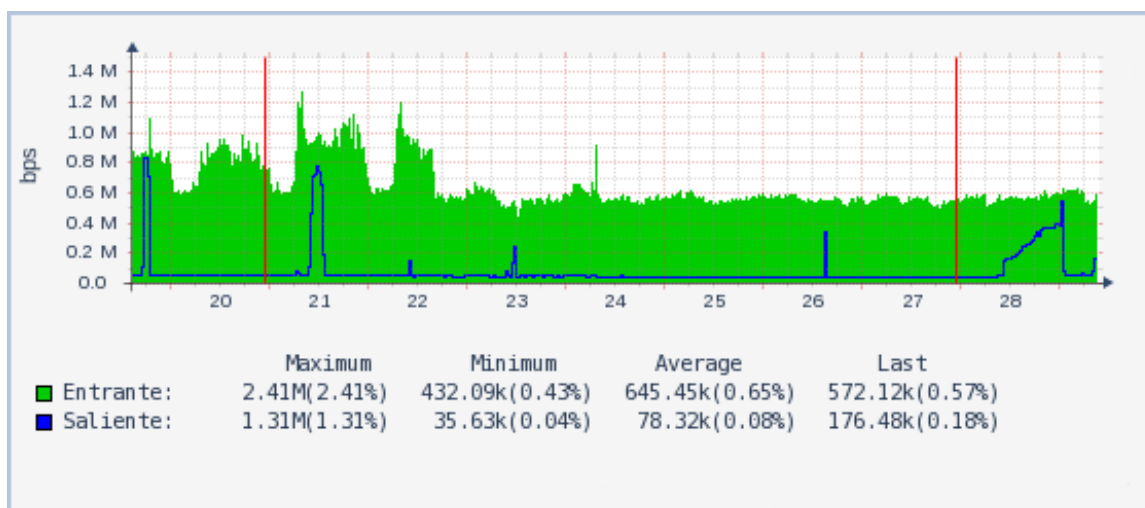


Figura 5.12: Gráfica de tráfico en el enlace WAN

Como se puede ver en la gráfica 5.12 no existe ningún tipo de meseta, lo cual indica que el ancho de banda es más que suficiente y no se debe ampliar, además el pico más alto es de alrededor de 2,41 Mbps lo cual indica que ha todavía existe un gran margen hasta completar el caudal contratado.

En la figura 5.13 se observa la cantidad de tráfico que existe en la parte LAN es decir desde el puerto ethernet0/0 del Router hasta toda la red de usuario, como se puede apreciar la cantidad de tráfico es aproximadamente igual que en la parte WAN. Teniendo en cuenta que la conexión LAN se hace a través de un cable categoría seis el cual puede alcanzar velocidades de hasta 1Gbps, es evidente que no existe la necesidad de ampliar el ancho de banda

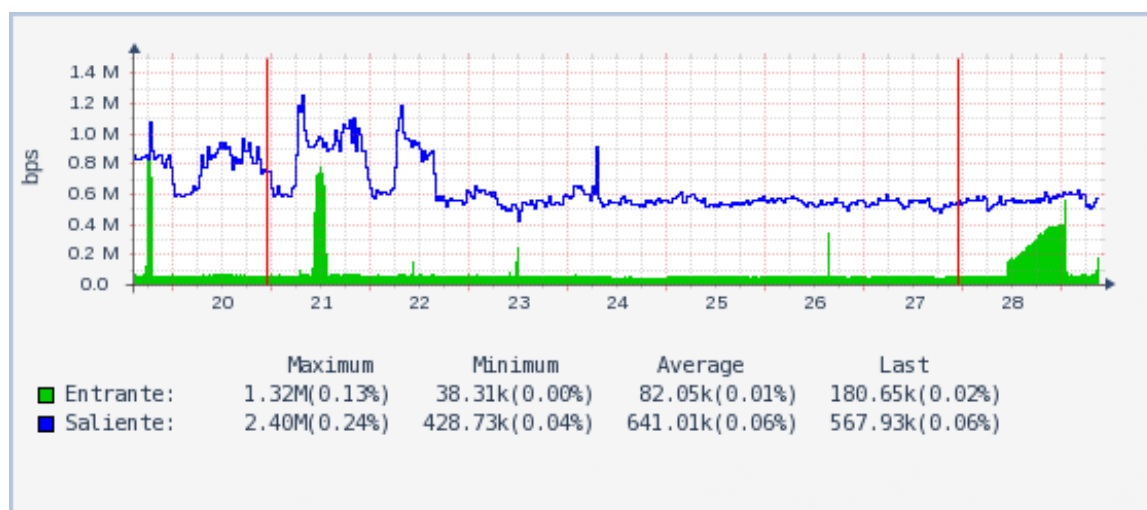


Figura 5.13: Gráfica de tráfico en el enlace LAN

Puede parecer extraño que un Centro de Usuario con estas características necesite tan poco ancho de banda, esto se debe a que la parte que normalmente tiene más requerimientos, es decir comunicaciones de tipo multimedia y en tiempo real como pueden ser videoconferencia o cámaras de seguridad no se prestan o se realizan de forma local.

Existe vídeo vigilancia dentro de la estación, pero esta se realizan mediante un circuito CCTV el cual es monitorizado de manera física en la estación y las grabaciones son almacenadas en localización y no en remoto.

Se puede concluir que la calidad de la conexión actual es la adecuada y aunque se pueda tener que revisar en el caso de que se añadan más servicios, en la actualidad satisface los requerimientos de servicio.

### 5.7.2. QoS

Durante la redacción de este trabajo no se dispone de datos fiables sobre la calidad de servicio disponible en la red. Esto se debe a que durante el despliegue del nuevo Centro de Usuario, uno de los proyectos desarrollados en paralelo comprendía el cambio de la electrónica de red situada en los Centros Intermedios.

Este cambio ha producido una imposibilidad de análisis de tráfico por la herramienta destinada a esta función, por lo cual no es posible sacar estadísticas fiables sobre la calidad de servicio.

Siendo una herramienta fundamental en la organización se está trabajando con el fin de solucionar el problema lo antes posible.

### 5.7.3. Incidencias

Durante el proceso de motorización no se abrió ninguna incidencia en el servicio y como se puede ver en la gráfica de la figura 5.14 el enlace físico no ha llegado a caerse ya que en ningún instante llego a levantarse ni generar tráfico.

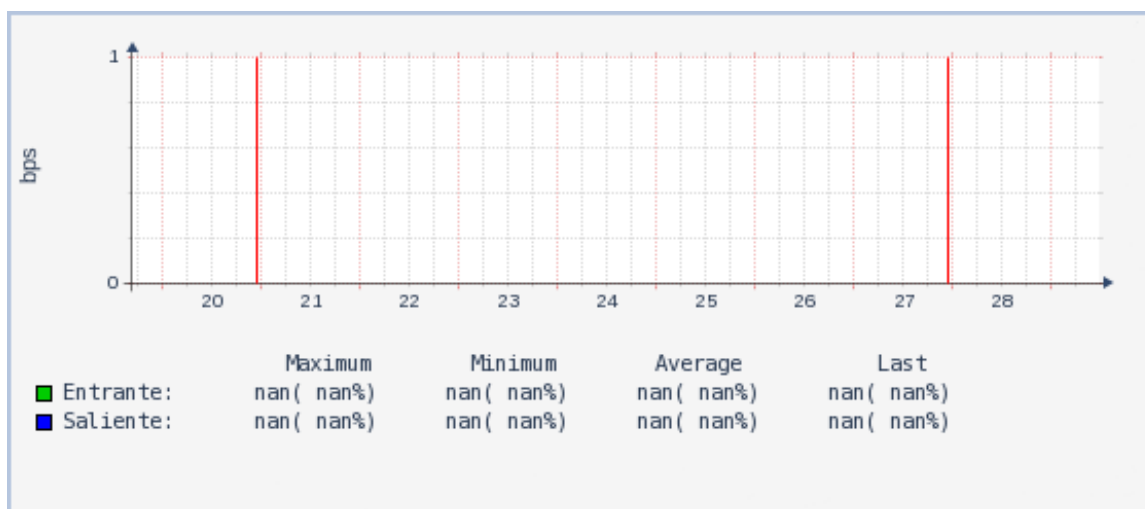


Figura 5.14: Gráfica de tráfico en el backup 3G/4G

Aunque el equipo se encuentre en producción, se sigue monitorizando y en el caso de que se genere algún tipo de incidencia esta se debe resolver teniendo en cuenta el SLA requerido, tratándose de un CU con prioridad tres (el servicio se ve afectado pero no impide su uso) se debe resolver al siguiente día laboral (NBD).

## 5.8. Conclusión

---

En este capítulo se ha ejecutado el plan que se estableció en la fase de planificación (véase capítulo 4) realizando las pruebas pertinentes para verificar la correcta instalación del Centro de Usuario.

# 6

## Conclusiones y trabajo futuro

### 6.1. Introducción

---

En este capítulo se analizará el trabajo desarrollado y expuesto en este documento y se extraerán las conclusiones finales del documento. Además, se analizarán los puntos que necesitan un trabajo extra en la sección de Trabajo Futuro.

### 6.2. Conclusiones

---

El objetivo de este TFG era la creación de una arquitectura de red de calidad que cumpliera una serie de características (fiabilidad, alta disponibilidad, redundancia, etc.). El resultado obtenido ha sido una red robusta, que cumple los requisitos establecidos en el inicio del documento.

A lo largo del proyecto hemos podido observar la creación de una arquitectura de red desde cero, basándonos en distintos estándares establecidos por ADIF siguiendo directrices ITU. Esta arquitectura de red tiene la finalidad de cubrir las necesidades de una estación de Cercanías. Finalmente, se ha conseguido una red completa con todas sus especificaciones técnicas, los dispositivos adecuados y el mapa de como se ha implantado (As Built).

Los conceptos y diseño utilizados para el desarrollo de este Centro de Usuario se pueden extrapolar para entender cómo se expande y cómo se seguirá expandiendo la Red IP de Sistemas de Información de ADIF en el futuro. Por ejemplo, para cualquier estación de Alta Velocidad la topología es muy similar; obviamente se requiere un servicio con mayor ancho de banda por lo cual en vez de un circuito SDH de 4MBps, se solicita mayor caudal, típicamente 45MBps. Dado que se requiere una mayor cantidad de servicios, en vez de sólo instalar un LU se instalarán al menos dos o tres, conectados entre ellos por fibra o CAT6 para distancias menores de 100 metros.

### **6.3. Retrasos en el Proyecto**

---

Debido a la dependencia que existente en este proyecto a la terminación de la infraestructura necesaria en la estación, el despliegue de comunicaciones se ha visto afectado por retrasos generados por la obra publica de la estación.

Es decir, al no tenerse terminados los cuartos de comunicaciones sobre la fecha que se tenía prevista (véase diagrama de Gantt en la figura 4.2), la instalación del bastidor en el cual se han instalado los equipos no estaba disponible y por consiguiente el circuito no se podía instalar.

Los retrasos y el efecto que han tenido en el proyecto tanto en la planificación y en el presupuesto se han documentado en el anexo B. No ha afectado al coste significativamente, ya que los recursos humanos se han dedicado a otras tareas. El coste de los recursos materiales no es significativo.

### **6.4. Trabajo Futuro**

---

De cara al futuro, se debe monitorizar de manera constante el estado de los equipos y su funcionamiento. Por ese motivo se añadió el Centro de Usuario a las herramientas de gestión implantadas en la organización. Al tener un interfaz Ethernet, en el caso de ser necesario aumentar el caudal, no implicaría un cambio del equipo, salvo que se superara (through-put) del mismo que es de unos 20MBps. Se que es muy improbable esta situación.

El switch de usuario tiene puertos sin utilizar por lo que cualquier ampliación de servicio no supondría ningún problema.

Es de esperar que en un futuro surjan incidencias ocasionadas por el uso de las instalaciones o cambio de equipamiento por parte de ADIF, las cuales deben ser solucionadas con la mayor prontitud, debido que la perdida de servicio en la estación dejaría sin determinados servicios a todos sus usuarios.



# Bibliografía

- [1] ADIF. Declaración sobre la red. [http://www.adif.es/es\\_ES/conoceradif/doc/CA\\_DRed\\_Completo.pdf](http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/CA_DRed_Completo.pdf).
- [2] Israel Sanchez Argüelles. Telecomunicaciones ferroviarias. Technical report, ADIF, 2010.
- [3] VG Cerf and Robert E Kahn. A protocol for packet network communications. *IEEE Transactions on Communications*, 22(5), 1974.
- [4] Vivek Alwayn. *Advanced MPLS design and implementation*. Cisco Press, 2001.
- [5] Loa Andersson. Multiprotocol label switching (mpls) label stack entry: Exp field renamed to traffic class field. 2009.
- [6] Ivan Pepelnjak and Jim Guichard. *MPLS and VPN architectures*, volume 1. Cisco press, 2002.
- [7] Tony Bates, Ravi Chandra, Dave Katz, and Yakov Rekhter. Multiprotocol extensions for bgp-4. Technical report, RFC 2283, 1998.
- [8] Halabi Sam. *Internet routing architectures*. Pearson Education India, 2008.
- [9] Xipeng Xiao and Lionel M Ni. Internet qos: a big picture. *Network, IEEE*, 13(2):8–18, 1999.
- [10] Dan Grossman. New terminology and clarifications for diffserv. 2002.
- [11] William R Parkhurst. *Cisco BGP-4 command and configuration handbook*. Cisco Press, 2001.
- [12] James F Kurose and Keith W Ross. *Computer networking: a top-down approach*. Addison-Wesley, 2007.
- [13] Martin De Prycker. *Asynchronous transfer mode: solution for broadband ISDN*. Ellis Horwood, 1991.





## Modelos de Conectividad

### A.1. Introducción

---

En este anexo se van a presentar todos los tipos de conexiones que existen en funcionamiento dentro de la Red IP de Sistemas de . Información de ADIF. No se incluyen los modelos ya mencionados en el capítulo 2, los cuales a día de hoy son los más utilizados.

### A.2. Acceso del Router de Usuario a través de Enlace Serie

---

La figura A.1 muestra la topología de esta solución, en la que el router de usuario (CPE) se conecta a través de un enlace serie al PE del Centro de Zona o Centro Intermedio. Se trata de una de las topologías más extendidas en la red hace años, que hoy se encuentra en desuso. Los parámetros básicos de encaminamiento son:

- El router de usuario tendrá una ruta estática por defecto al equipo PE para acceder a la red.
- El router PE tendrá rutas a través de la línea serie a la red del usuario y a la loopback del router de usuario.
- El PE realiza la redistribución en el protocolo de routing dinámico correspondiente (OSPF o MP-iBGP) de las rutas estáticas a dicho centro de usuario y las rutas conectadas

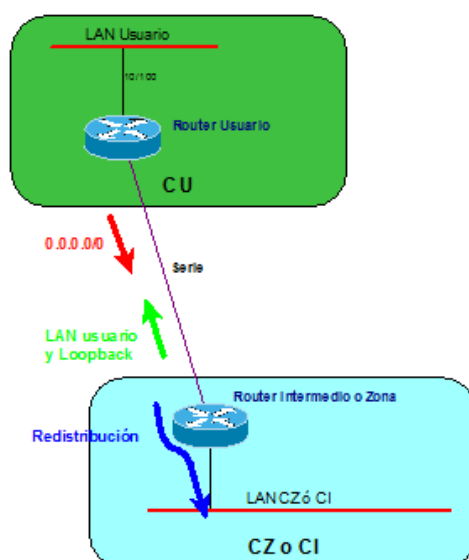


Figura A.1: Acceso Principal de Centro de Usuario mediante enlace punto a punto

### A.3. Acceso de LAN de Usuario a través de Enlace Fibra o Cobre

---

La Figura A.2 muestra la topología de esta solución para un enlace de fibra; en el caso de un enlace de cobre entre el Centro de Usuario implementado en forma de SU (Switch de Usuario) y el conmutador de acceso al nodo la solución sería análoga.

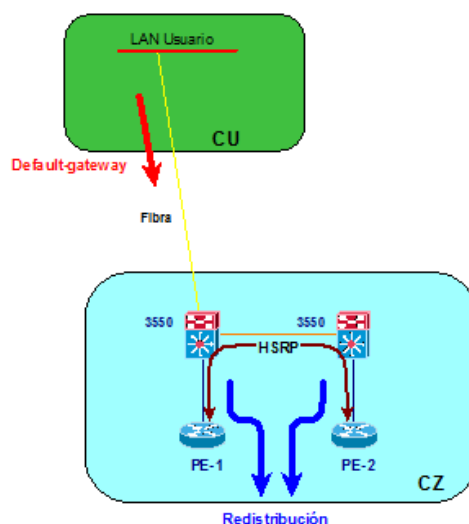


Figura A.2: Acceso Principal del LAN de Usuario mediante Enlace Fibra

La principal diferencia con la solución anterior es que, en este caso, el equipo de comunicaciones instalado en el Centro de Usuario será un conmutador que no realizará funciones de nivel 3, de forma que las VLANs de los nodos llegarán directamente, a través de los enlaces Ethernet de conexión del Centro de Usuario con su Centro de Zona o Intermedio correspondiente, hasta los routers PE a los que se conecten, actuando estos como “gateways IP” de todos los usuarios conectados a estas VLANs.

En este caso, el encaminamiento sufre algunas variaciones con respecto al analizado en el apartado anterior, ya que no existirá equipo de routing en el Centro de Usuario, de forma que todo el encaminamiento hacia el centro lo realizarán los routers PE (RZ o RI). Los parámetros de encaminamiento son:

- Nuevamente, los equipos PE del nodo correrán protocolo HSRP de forma que compartirán una misma dirección IP virtual a la que responderán en función del que actúe como equipo activo. En caso de caída del equipo principal, el equipo standby tomará sus funciones respondiendo a esta misma dirección IP.
- Los usuarios de las VLANs de los Centros de Usuario definirán esta dirección IP virtual como su “Gateway IP” por defecto.
- A partir de aquí, el encaminamiento en el backbone es idéntico al realizado en el caso anterior, estas VLANs serán redistribuidas en el protocolo de encaminamiento de backbone correspondiente con el objetivo de que el Centro de Usuario esté accesible al resto de usuarios de la red.
- En el caso de que el Centro de Zona o Intermedio dispongan de 2 routers PE, esta redistribución se realizará con distintas métricas, primando al que actúa como equipo principal de HSRP en cada momento, de forma que el tráfico hacia/desde el Centro de Usuario sea simétrico en todo momento.

#### **A.4. Centros de Usuario con soluciones de backup**

---

Una vez mostrado las topologías típicas de los Centros de Usuario, se muestran muy brevemente en este apartado las distintas alternativas que pueden existir en la red para ofrecer soluciones de backup a los mismos.

##### **A.4.1. Acceso del Router de Usuario a través de Enlace Serie y Backup por RDSI**

Se trata de la solución más típica y extendida durante años en la red, si bien está casi totalmente migrado hacia otro tipo de backups. La figura A.3 muestra la topología de esta solución. En este caso, el encaminamiento por la línea principal se produce de forma idéntica al mostrado en apartados anteriores.

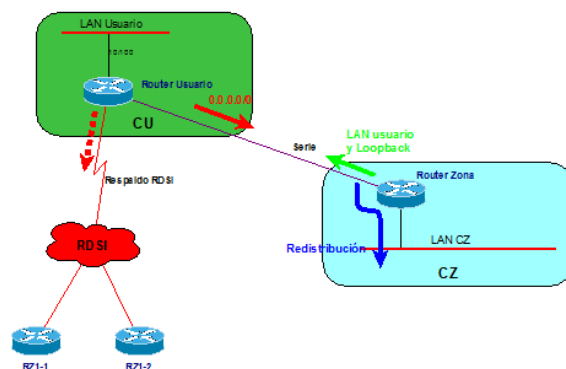


Figura A.3: Acceso de Centro de Usuario mediante Enlace Serie y Backup por RDSI

En cuanto al backup, este se activará únicamente cuando el router de Usuario detecte que la línea principal ha caído, realizando en esos momentos una llamada y levantando la línea RDSI [13]. Así, el router de usuario comenzará encaminar su tráfico a través de la línea RDSI (mediante una ruta estática flotante) y en el backbone, el router NAS que concentra los accesos RDSI propagará igualmente las redes LAN de este Centro de Usuario a través del backbone, lo que hará que el tráfico de vuelta al Centro de Usuario se encamine a través de él.

#### A.4.2. Acceso Doble (dos Routers de Usuario) a través de Enlace Serie

Otra de las posibilidades de redundancia en Centros de Usuario se muestra a en este apartado, en el caso de que el Centro de Usuario posea 2 routers, cada uno con un enlace serie a los routers del Centro de Zona tal y como muestra la topología de la figura A.4.

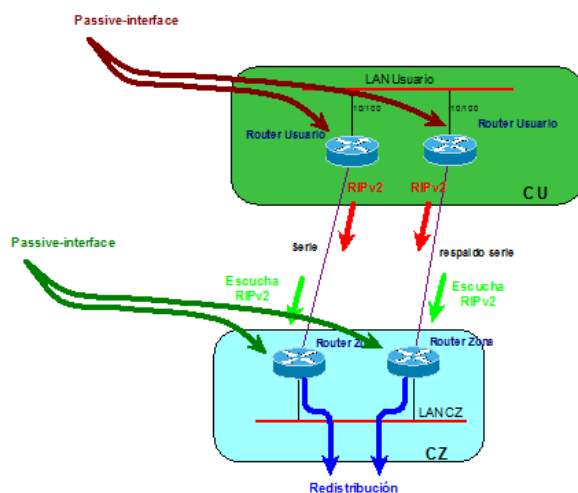


Figura A.4: Acceso Doble del Centro de Usuario mediante Enlaces Serie

En este caso, los dos routers de Usuario hablarán HSRP para ofrecer a los usuarios conectados a las VLANs del Centro de usuario, una dirección IP virtual única que actuará como su “Gateway IP”, ofreciendo por tanto un mecanismo de redundancia de equipo hasta el Centro de Usuario.

En cuanto al encaminamiento del tráfico entre PE y CE, se establecerá un protocolo de routing dinámico entre ambos que permita encaminar el tráfico a través de uno de los enlaces y detectar la caída del enlace principal y la conmutación al enlace secundario.

Por último, en los routers PE del Centro de Zona o Intermedio al que los equipos anteriores se conectan, se redistribuirán las rutas recibidas desde el Centro de Usuario en el protocolo de routing interno del backbone (OSPF o MP-iBGP, en función de que el Centro de Usuario esté asociado a una VPN o no). Nuevamente, en este caso se priorizarán las rutas redistribuidas por el router PE que tenga conectada la línea principal de conexión al nodo, de forma que el tráfico sea simétrico.

#### A.4.3. Acceso Doble a través de Fibra y Cobre

La solución es exactamente igual a la mostrada en el apartado A.4.2. En este caso tenemos dos accesos directos a los conmutadores del centro de usuario. La figura A.5 muestra la topología de esta solución.

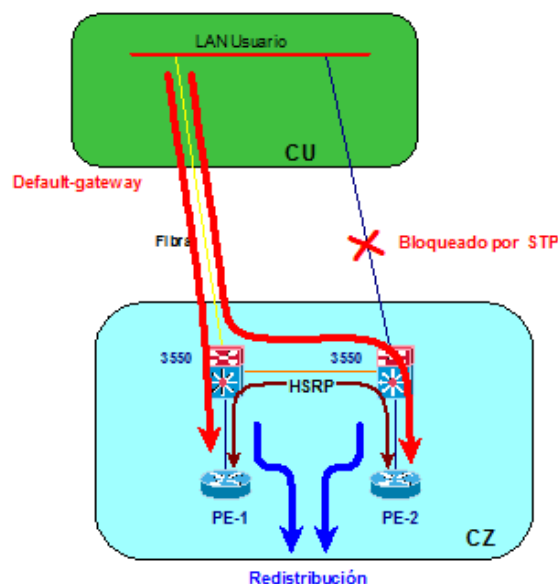


Figura A.5: Acceso Doble de la LAN de Usuario mediante enlace Fibra o Cobre

## A.5. Acceso del Centro de Usuario que pertenece a más de una VPN (Multi-VRF)

---

Se puede dar el caso de un centro de usuario del cual dependan usuarios que no pertenecen todos ellos a la misma VPN, por ejemplo un Centro de Usuario donde haya cámaras de seguridad y usuarios que pertenecerían respectivamente a la VPN de Seguridad y a la VPN ADIF Corporativa. En el caso de que el equipo de usuario sea un SU o la red de Usuario esté directamente conectada esto no supone un problema porque los usuarios pueden ser separados en diferentes VLANs y cada VLAN puede ser asignada a una VRF independiente en la subinterfaz del PE al que se conecta el CU. Sin embargo, cuando la conexión entre el PE y el Router de Usuario se hace a través de un Enlace Serie el tráfico de usuario llega al PE sin ser diferenciado.

Para evitar la provisión de varias líneas serie entre el CPE de cliente y los equipos PE, se utiliza sobre este tipo de acceso encapsulación Frame Relay, definiendo posteriormente un PVC para cada servicio (supongamos VPN ADIF Corporativa y VPN Seguridad).

La encapsulación Frame Relay fue diseñada originalmente para proporcionar accesos de banda ancha con multiplexación de circuitos y ancho de banda dinámico. Constituye un protocolo que define circuitos virtuales (VCs) de forma similar a los circuitos virtuales de una red ATM que son reconducidos a través de una red de conmutación de tramas (o celdas) hacia un punto de concentración. Cada circuito tendrá unas características de ancho de banda que se configuran como unos valores de ancho de banda sostenido (CIR) y unos valores de permisión de ráfaga (EIR). Estos valores son configurados en la red, no en el acceso, y será la red la encargada de garantizar los niveles de caudal establecidos para cada circuito virtual.

En este caso no emplearemos la encapsulación Frame Relay como servicio clásico, sino como método de establecer varios circuitos lógicos sobre una misma interfaz física, por tanto, especificar unos valores de CIR o de EIR no tendrá sentido.

Los circuitos lógicos definidos en cada interfaz supondrán la definición de diferentes subinterfaces (tantos como VPNs tenga asociados el Centro de Usuario) que nos facilitarán la separación requerida de servicios. Así, en el ejemplo, se definiría un PVC para el servicio de la VPN ADIF Corporativa y otro para la VPN Seguridad. También es posible crear dos subinterfaces, uno de

ellos para la VPN y manteniendo el otro en la tabla global.

Para ofrecer los servicios considerados sobre este tipo de acceso, las subinterfaces correspondientes a los PVCs de cada servicio se asociarán a una VRF creada en el PE para cada VPN. Una topología de ejemplo se puede observar en la figura A.6.

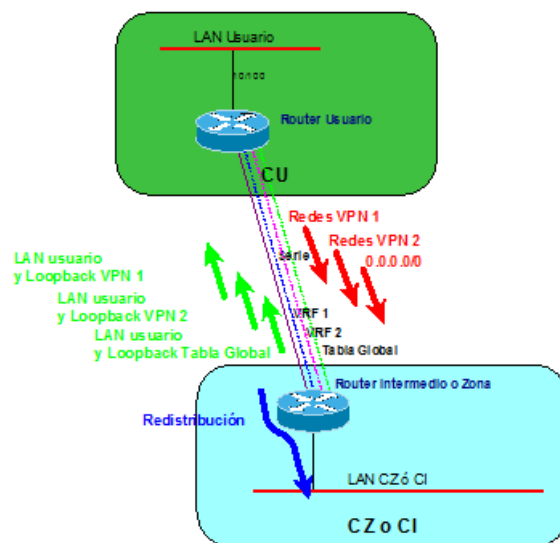


Figura A.6: Multi-VRF en una Línea Serie con encapsulación Frame Relay

Por su parte, el equipo CPE se “virtualizará”, definiendo en él una VRF por cada VPN conectada al mismo, y asociando a cada una de estas VRFs el subinterfaz Frame-Relay que le conecta al router PE (donde realmente se configura MPLS) y la VLAN o VLANs del Centro de Usuario que también pertenecen a esta VPN. De esta forma, se estaría emulando que se dispone de varios routers CPE en un Centro de Usuario y varias líneas de conexión al mismo, ofreciendo las mismas funcionalidades que se tendrían en Modelos de conectividad en los Centros de Usuario.





## Documentación Planificación

### **B.1. Introducción**

---

El objetivo de este anexo es extender la información expuesta en el capítulo 4 en el cual se expuso la planificación del proyecto mediante metodología de diagramas de Gantt.

Por lo tanto se incluirán el resto de diagramas que se comprueban para asegurarse que el proyecto esté bien diseñado, como por ejemplo la correcta asignación de los recursos.

### **B.2. Recursos**

---

El diagrama de Gantt es una herramienta que se emplea para planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado de tiempo. Gracias a una fácil y cómoda visualización de las acciones a realizar, permite realizar el seguimiento y control del progreso de cada una de las etapas de un proyecto. Reproduce gráficamente las tareas, su duración y secuencia, además del calendario general del proyecto y la fecha de finalización prevista.

Para completar las tareas en las cuales se ha dividido el proyecto es necesario tener a disposición unos determinados recursos, los cuales, dependiendo de la tarea en cuestión pueden ser utilizados en paralelo. Por eso es fundamental tener un control exhaustivo de su disponibilidad.

En la figura 4.3 se muestra el diagrama de Gantt en su totalidad incluyendo los recursos que se asignan a cada tarea, obviando los pasos previos de comprobación de sobreasignación. Como se puede ver en la figura B.1 se muestra la asignación de recursos a tarea y la cantidad de horas requeridas para completar la tarea.

Nombre del recurso	12 Oct '15		26 Oct '15		9 Nov '15		23 Nov '15		7 Dec '15		21 Dec '15		4 Jan '16		18 Jan '16		31 Feb '16	
	W	S	T	M	F	T	S	W	S	T	M	F	T	S	W	S	T	M
▲ Jefe de Comunicaciones																		
Documento pase a producción				0,2h	0,42h													
Espera aprobación				0,2h	0,42h													
Seguimiento				0,2h	0,42h													
Manager				0,2h	0,42h													
▲ Técnico de Comunicaciones																		
Asignación de direccionamiento				1,03h														
Configuración red troncal				1,03h														
Configuración router																		
Configuración switch																		
Pruebas																		
Seguimiento																		
Calidad																		
QoS																		
Incidencias																		
▲ Mando Intermedio																		
Estudio Viabilidad																		
Ubicación																		
Modelo de conectividad																		
Peición de bastidor																		
Peición circuito																		
Peición instalación router																		
Peición instalación switch																		
Alta sistemas de gestión																		
Documento pase a producción																		
Seguimiento																		
Calidad																		
QoS																		
Incidencias																		
▲ Asesora																		
Instalación router																		
▲ Ttad V																		
Configuración router																		
▲ Cisco 2960																		
Configuración switch																		
▲ Bastidor																		
Instalación bastidor																		
▲ Alta Circuito Digital																		
Instalación circuito																		
▲ Mantenimiento Circuito Digital																		
Instalación circuito																		
▲ Ethernet (-50m)																		
Instalación switch																		
▲ Ethernet (-5m)																		
Instalación switch																		

Figura B.1: Asignación de recursos a tarea

Analizando la figura B.1 se puede ver que los recursos más utilizados son los que denominamos como recursos humanos. Para un proyecto de estas dimensiones, la función de Mando Intermedio y Técnico será desarrollado por una persona para cada puesto. Se hace indispensable comprobar que la carga de trabajo no supera el máximo, es decir que para un día determinado, a ninguno de los empleados se les haya asignado una jornada laboral mayor a la reglamentada.

En las figuras: B.2, B.3 y B.4 se muestran tres gráficas con el porcentaje de carga de trabajo que se exige a cada uno de los recursos humanos. Como se puede ver en ninguna de ellas se llega a superar el 100 %, pero si se llega a alcanzar.

Esto quiere decir que existen algunas tareas que requieren más esfuerzo desde el punto de vista humano que otras, por ejemplo la fase de implementación tiene una gran exigencia tanto para el Mando Intermedio como para el Técnico. Mientras que el Pase a Producción al ser más administrativo requiere una mayor atención por parte del Mando Intermedio.

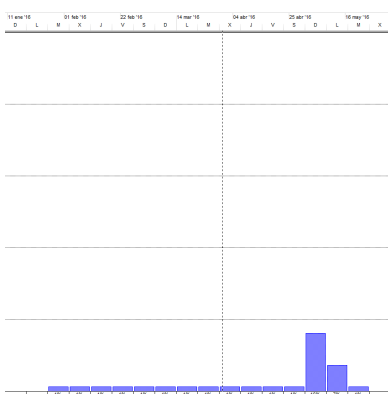


Figura B.2: Carga trabajo Jefe de Comunicaciones

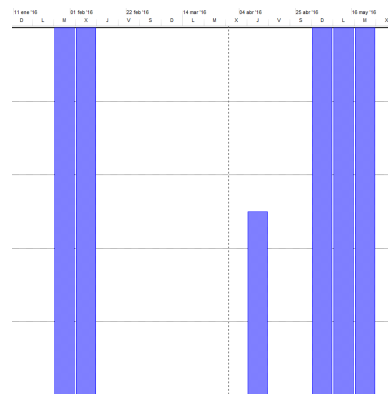
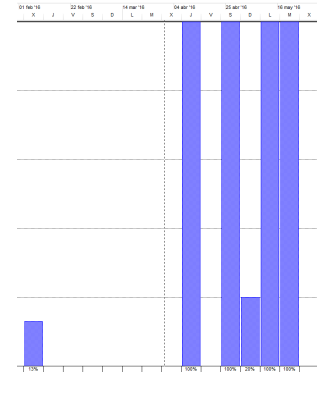


Figura B.3: Carga trabajo Mando Intermedio



### **B.3. Presupuesto**

---

En la figura 4.4 se muestra una gráfica en la cual se puede ver el coste total de cada tarea, dicho coste se ha computado teniendo en cuenta dos factores:

- **Coste Físico:** Calculado utilizando los datos mostrados en el cuadro 4.1.
- **Coste Humano:** Cantidad de horas necesitas para completar la tarea (véase figura B.1) multiplicado por el coste por horas.

Sumando ambos costes se obtiene el coste total de una tarea y así un presupuesto para el coste del proyecto, el resumen de los datos se pueden ver de forma gráfica en la figura 4.4 y con más detalle en la tabla B.1.

Nombre de la Tarea	Previsión
Estudio Viabilidad	240 €
Ubicación	720 €
Modelo de Conectividad	240 €
Asignación de Direccionamiento	36,4 €
Petición Bastidor	31,2 €
Instalación Bastidor	1.025,03 €
Petición Circuito	31,2 €
Instalación Circuito	1.177,99 €
Configuración Red Troncal	140 €
Configuración Router	550 €
Petición Instalación Router	60 €
Instalación Router	57,2 €
Configuración Switch	410,6 €
Petición Instalación Switch	60 €
Instalación Switch	80 €
Pruebas	280 €
Alta Sistemas de Gestión	192 €
Documentación pase a Producción	496 €
Espera Aprobación	16 €
Seguimiento	672 €
Calidad	780 €
QoS	1.300,00 €
Incidencias	520 €
Manager	320 €
	9.435,62 €

Tabla B.1: Presupuesto por tarea

## B.4. Retrasos en la ejecución

Como ya se ha mencionado en el capítulo 6 durante la ejecución del proyecto se han producido retrasos significativos debido a la construcción de la estación y por consiguiente la imposibilidad de instalar e interconectar los equipos.

Estos retrasos generan cambios en el diseño expuesto en el capítulo 4, cambiando las fechas de ejecución de muchas tareas dependientes de la instalación del bastidor y del circuito.

La variando el coste del proyecto, es bastante poco significativa. Básicamente se trata de coste imputado por tareas de seguimiento por parte de los responsables del mismo.

### B.4.1. Cambios en el timing

Mirando el diagrama de Gantt de la figura 4.2 se puede ver que las tareas de instalación del circuito y del bastidor son aquellas que requieren más tiempo. En este caso ha ocurrido que se han alargado aún más, haciendo cambiar el comienzo de muchas de las tareas a su vez modificando las fechas del proyecto.

En la figura B.5 se puede ver el diagrama de seguimiento del proyecto en el cual se aprecia como la línea base de las tareas definidas en el capítulo 4 no se consigue cumplir, produciendo un retraso significativo.

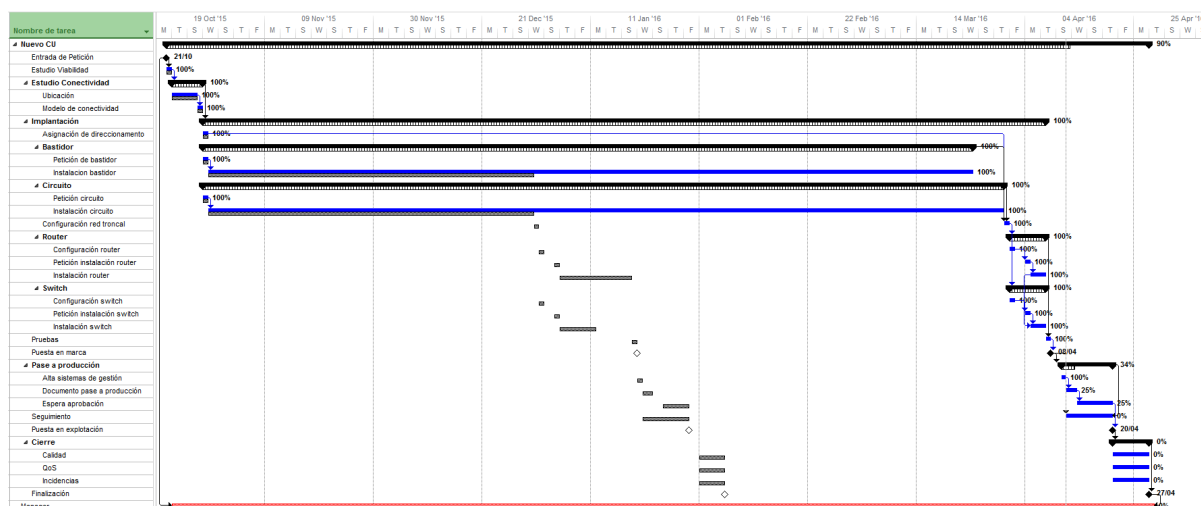


Figura B.5: Diagrama de Gantt de Seguimiento

### B.4.2. Cambios en el Presupuesto

Al ser afectado el inicio y fin del proyecto el coste de este también varía aunque no de una manera tan significativa.

En la tabla B.2 se pueden ver el costo total por tarea es decir cuanto ha costado, la previsión (lo que se había pensado lo que costaría) y la variación entre las dos.

Como se aprecia, solo existe una diferencia de 271,47 €, es decir, un incremento 2,8 % en el coste total del proyecto. Teniendo en cuenta la gran desviación que existe en tiempo es un aumento poco significativo.

Nombre de la Tarea	Costo Total	Previsto	Variación
Estudio Viabilidad	240 €	240 €	0 €
Ubicación	720 €	720 €	0 €
Modelo de Conectividad	240 €	240 €	0 €
Asignación de Direccionamiento	36,4 €	36,4 €	0 €
Petición Bastidor	31,2 €	31,2 €	0 €
Instalación Bastidor	1.025,03 €	1.025,03 €	0 €
Petición Circuito	31,2 €	31,2 €	0 €
Instalación Circuito	1.204,27 €	1.177,99 €	26,28 €
Configuración Red Troncal	140 €	140 €	0 €
Configuración Router	550 €	550 €	0 €
Petición Instalación Router	60 €	60 €	0 €
Instalación Router	57,2 €	57,2 €	0 €
Configuración Switch	410,6 €	410,6 €	0 €
Petición Instalación Switch	60 €	60 €	0 €
Instalación Switch	80 €	80 €	0 €
Pruebas	280 €	280 €	0 €
Alta Sistemas de Gestión	192 €	192 €	0 €
Documentación pase a Producción	496 €	496 €	0 €
Espera Aprobación	16 €	16 €	0 €
Seguimiento	672 €	672 €	0 €
Calidad	780 €	780 €	0 €
QoS	1.300 €	1.300 €	0 €
Incidencias	520 €	520 €	0 €
Manager	565,19 €	320 €	245,19 €
	9.707,09 €	9.435,62 €	271,47 €

Tabla B.2: Tabla de Costo Actualizado

## B.5. Gestión del Valor Ganado

---

La Gestión del Valor Ganado es una técnica de gestión de proyectos que permite controlar la ejecución de un proyecto a través de su presupuesto y de su calendario de ejecución.

Compara la cantidad de trabajo ya completado en un momento dado con la estimación realizada antes del comienzo del proyecto. De este modo, se tiene una medida de cuánto trabajo se ha realizado, cuanto queda para finalizar el proyecto y extrapolando a partir del esfuerzo invertido en el proyecto, el jefe de proyecto puede estimar los recursos que se emplearán para finalizar el proyecto. Con esta metodología se puede estimar en cuanto tiempo se completaría el proyecto si se mantienen las condiciones con las que se elaboró el cronograma o considerando si se mantienen las condiciones que se presentaron durante el desarrollo del proyecto. También se puede estimar el costo total del proyecto.

Para la ejecución de este análisis se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- **Valor Planificado (*PV* o *BCWS*):** El costo presupuestado de las tareas que se había planificado terminar en esa unidad de tiempo.
- **Coste Actual (*AC* o *ACWP*):** El costo actual de las tareas.
- **Valor Ganado (*EV* o *BCWP*):** El costo presupuestado de las tareas que realmente se han avanzado o terminado para cada periodo.

### B.5.1. Valor Ganado

El valor de ganado del proyecto en comparación a la fecha. Si el coste real (ACWP) es mayor al valor obtenido (BCWP), entonces el proyecto está por encima del presupuesto. Si el valor previsto (BCWS) es mayor que el valor obtenido, entonces el proyecto se ha retrasado.

En la figura B.6 se pueden ver de manera gráfica los tres indicadores, los cuales concuerdan con el retraso que ha ocurrido en el proyecto, ya que se puede ver que el coste previsto (BCWS) es mucho mayor que el valor obtenido (BCWP).

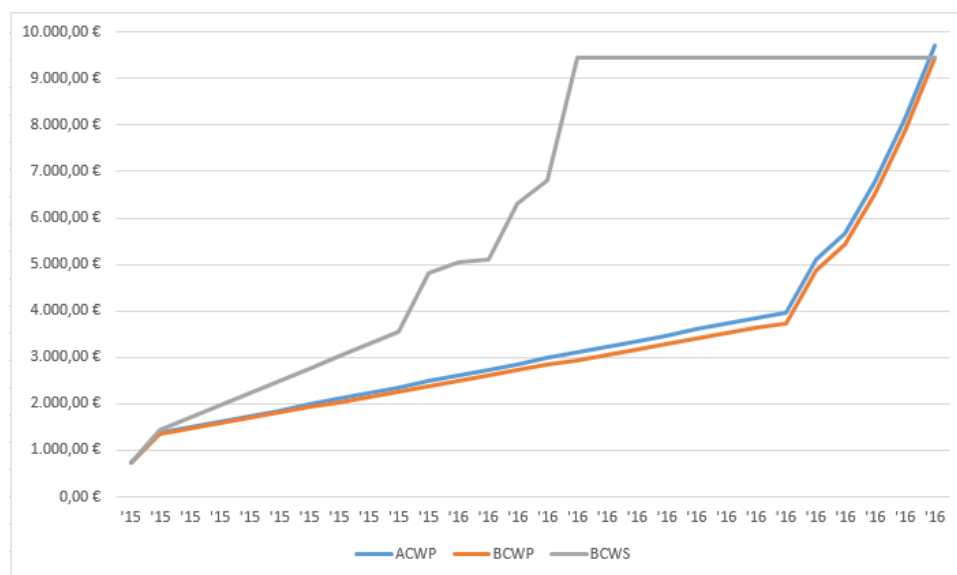


Figura B.6: Gráfica del Valor Ganado en función del Tiempo

Cabe denotar que el coste real (ACWP) y el valor obtenido (BCWP) son casi idénticos, esto acentúa el hecho de que el desvío en presupuesto es casi insignificante.

### B.5.2. Variación en el tiempo

Indicadores cuyo fin es ver la variación en el coste e inicio de tareas basados en su estado cronológico. Si el indicador CV (Variación del Coste) es negativo, significa que el proyecto está por encima de presupuesto. En el caso de que el indicador SV (Variación del Calendario) sea negativo sería indicativo de que el proyecto se encuentra retrasado.

En la figura B.7 se muestra de manera gráfica los dos indicadores mencionados (CV y SV). Examinando los datos se puede observar que el indicador SV es negativo mientras que CV es muy proximo a cero. Esto acentúa lo ya expuesto: el proyecto se ha retrasado mientras que el presupuesto ha sido generado de forma correcta.

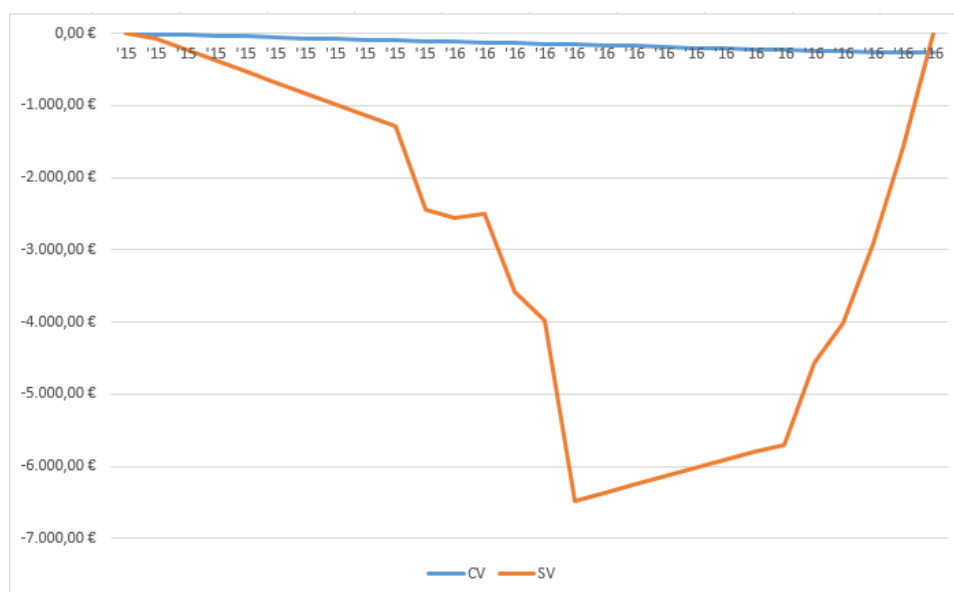


Figura B.7: Gráfica de la Variación en el tiempo

### B.5.3. Índices de Coste y Rendimiento

Los índices SPI (Schedule Performance Index) y CPI (Cost Performance Index) tienen como fin analizar la eficiencia del proyecto tanto en forma de Rendimiento como de Coste.

#### Schedule Performance Index (SPI)

El SPI es una medida de la eficiencia horario expresado como la relación del valor obtenido con el valor previsto. El cálculo de dicho se hace mediante la siguiente formula:  $SPI = \frac{EV}{PV}$  con el resultado dado se puede concluir lo siguiente:

- Si el SPI es mayor que uno, esto significa que se ha completado mas trabajo del previsto. En otras palabras, existe un rendimiento mayor del previsto.
- Si el SPI es inferior a uno, esto significa que se ha completado menos trabajo del previsto. Es decir, existe un rendimiento menor del previsto, produciendo retrasos en el proyecto.
- Si el SPI es igual a uno, esto significa que todo el trabajo se ha completado según lo planificado.

#### Cost Performance Index (CPI)

El índice de rendimiento de costes analiza la eficiencia del costo que utiliza el proyecto. Mide el valor de los trabajos realizados en comparación con el costo real dedicado al proyecto. El cálculo de dicho se hace mediante la siguiente formula:  $SPI = \frac{EV}{AC}$  con el resultado dado se puede concluir lo siguiente:

- Si el CPI es menor que uno, esto significa que se está ganando menos que el gasto. En otras palabras, el proyecto está por encima del presupuesto.

- Si el CPI es mayor a uno, esto significa que se está ganando más que el gasto. Es decir, el proyecto está por debajo del presupuesto.
- Si el CPI es igual a uno, esto significa que se está cumpliendo con el presupuesto.

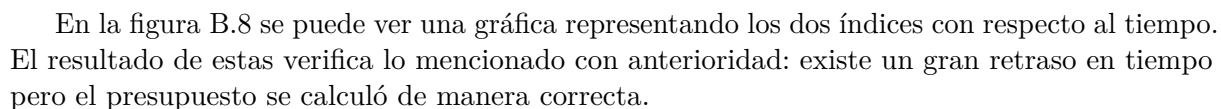


Figura B.8: SPI y CPI en función del Tiempo





# Plan de Direccionamiento

## C.1. Introducción

---

El objetivo de esta sección es identificar cómo se distribuye el direccionamiento en la Red IP de Sistemas de Información de ADIF.

Se utiliza una clase A completa, por lo tanto se cuenta con  $2^{24} = 16,777,216$  IPs. Dada la gran cantidad de direcciones diseñó un modelo que es compatible con distintos protocolos de enrutamiento y a su vez es simple y sencilla de administrar. Sin olvidar que debe ser compatible con la topología y habilitar la escalabilidad del modelo tanto en lo referente a tamaño como a tecnología.

## C.2. Zona de direccionamiento

---

Engloba al Centro de Zona, los Centros que dependen jerárquicamente de él y los enlaces que los interconectan. Se considerará no perteneciente a la Zona de direccionamiento a aquellas LAN de los CZ incluidas dentro del backbone.

Las diferentes zonas están enlazadas entre si a través de enlaces punto a punto que unen los Centros de Zona y conforman el denominado Backbone.

## C.3. Particionado del espacio de direccionamiento

---

Buscando simplificar la administración de la red se optó por usar de forma general subredes de clase C, salvo en el caso de interfaces para conexiones WAN (backup incluido).

Se utiliza el concepto de rango como un conjunto de subredes de clase C consecutivas, las cuales se identifican utilizando el concepto de máscara. Un rango servirá para reservar el espacio de direccionamiento a las Zonas, Subzonas y Centros de Usuario, dependiendo de cada tipo de rango utilizado.

El espacio total de direccionamiento de la red clase A (10.0.0.0\8) utilizada, es de  $\frac{2^{24}}{2^8} = 65,536$  subredes de clase C, es decir se utilizan los dos primeros bytes.

Este espacio de direccionamiento se ha dividido en 16 Rangos de Zona, cada uno de ellos dividido en 16 los cuales se dividen a su vez en 32 Rangos de Usuario. El particionado se realiza en rangos contiguos de subredes de clase C, que pueden escribirse como una unidad usando el concepto de máscaras.

La numeración de los Rangos de Zona o de Subzona no coincide con la numeración de los CZ ni con la de los CI (véase anexo D) , por lo que para hallar el direccionamiento de un Centro no hay que tener en cuenta su índice, sino el índice del Rango de direccionamiento al cual pertenece.

## C.4. Distribución del espacio de direccionamiento

---

Se distribuye el espacio de direccionamiento total de la red en 16 rangos, el último de los cuales será utilizado para el backbone de la red siendo por tanto su tratamiento distinto del resto de los rangos que se utilizarán en las distintas zonas

### C.4.1. Rangos de los Centros de Zona (CZ)

En una primera división, se divide todo el espacio de direccionamiento inicial en 16 rangos llamados Rangos de Zona, asignando un rango a cada una de las ocho zonas principales y dejando siete libres. El último de estos Rangos de Zona se corresponde al backbone.

Se dejan libres siete rangos en previsión de futuras ampliaciones, o bien en el rango de direccionamiento de los siete primeros Centros de Zona, lo cual se haría cambiando un bit de la máscara, (se sustituiría la máscara 255.240.0.0 por la 255.224.0.0), duplicando el espacio de direccionamiento, o bien para ampliar el número de CZ existentes en la actualidad.

La asignación de los Rangos de Zona con los distintos CZ en la actualidad es la siguiente:

- **Delicias:** CZ1 RG 0+1 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.224.0.0 (\11)
- **Chamartín:** CZ2 RG 2 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.240.0.0 (\12)
- **Atocha:** CZ3 RG 4 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.240.0.0 (\12)
- **Sevilla:** CZ4 RG 6 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.240.0.0 (\12)
- **Valencia:** CZ5 RG 8 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.240.0.0 (\12)
- **Barcelona:** CZ6 RG 10 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.240.0.0 (\12)
- **Bilbao:** CZ7 RG 12 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.240.0.0 (\12)
- **León:** CZ8 RG 14 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.240.0.0 (\12)
- **Zaragoza:** CZ9 RG 5 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.240.0.0 (\12)
- **CPDs:** RG 15 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.248.0.0 (\13)
- **Backbone:** RG 15 Red 10.xxx.xxx.xxx con máscara 255.248.0.0 (\13)

Estos 16 Rangos de Zona se obtienen, en principio, mediante la aplicación de la máscara 255.240.0.0 a la red de clase A inicial y cada una de estas 16 subredes es capaz de tener hasta 4.096 subredes de clase C, dividiéndose correctamente.

El último Rango asignado al backbone, será utilizado para direccionar todas las redes pertenecientes al backbone.

Cada uno de los nueve Rangos de Zona anteriores, se subdivide en 64 Rangos de Subzona, asignados a los CI, mediante la máscara 255.255.192.0 (/18), cada uno de los cuales consta de otras 64 subredes de clase C.

### **Primer Subrango**

El primero de estos subrangos (10.x.0.0-10.x.63.0), se utiliza para las LAN directamente conectadas a los routers del backbone pero que no pertenecen al backbone. Las 64 subredes de clase C de las que está compuesto se usarían de la siguiente forma:

Las 32 primeras para las LAN, (de la 10.64.0.0 a la 10.64.31.0).

Las 30 siguientes se dividen en 15 subrangos de direccionamiento utilizando la máscara 255.255.254.0 (/23). El primer rango está reservado para backup, ocupando por tanto el espacio de direccionamiento comprendido entre la dirección 10.64.32.0 y la 10.64.33.255, válido para conectar 128 nodos, utilizando la máscara 255.255.255.252 (/30). El resto de los subrangos se utilizarán para conectar nodos no conectados a ninguna LAN.

### **Segundo Subrango**

El segundo subrango (10.x.64.0-10.x.127.0), se utilizará para 64 posibles líneas horizontales entre los CI de la 10.64.64.0 a la 10.64.127.0.

Del tercer al octavo subrango (10.x.128.0-10.x+1.192.0), serán utilizados para conectarse directamente con 192 posibles Centros de Usuario a través de enlaces WAN; se usarán dos subredes de clase C para cada Centro de Usuario.

Las 192 subredes pares de clase C se usarán para los enlaces WAN, para los loopback de los routers de los Centros de Usuario.

Las 192 subredes impares de clase C para las LAN pertenecientes a esos Centros de Usuario.

Los 56 subrangos restantes (10.x+2.0.0-10.x+15.192.0), se usarán para asignar direccionamiento a cada una de las subzonas correspondientes a cada Centro Intermedio.

## **C.4.2. Rangos de los Centros de Intermedios (CI)**

Cada Centro Intermedio dispone de una de las 56 subredes vistas anteriormente, las cuales se puede a su vez descomponer en 64 subredes de clase C. Estas 64 redes serán utilizadas de la siguiente manera:

- **Las cuatro primeras Clases C (0–3):** Para las líneas WAN de unión con el Centro de Zona de nivel superior.
- **Las cuatro siguientes (4–7):** Para posibles LAN directamente conectadas en los CI.
- **La siguiente Clase C(8):** Para IP de Loopback, válida para 255 redes unihost.
- **Las cinco siguientes (9–13):** Para backup o lo que sea necesario en un futuro.
- **Las 50 siguientes (14–63):** Se dividirán en rangos de 2 subredes de clase C cada uno, que serán utilizados para conectarse con 25 posibles Centros de Usuario, de tal manera que:

- Las 25 redes pares se utilizarán para loopback y para las WAN de conexión entre los CI y los Centros de Usuario.
- Las 25 redes impares para las LAN que tienen asociadas estos Centros de Usuario.

### **C.4.3. Direccionamiento en los Centros de Usuario (CU)**

En cada Centro de Usuario se tienen dos subredes de clase C:

- La primera, la par, se utiliza para la WAN y conexiones de servicios como puede ser: videoconferencia, seguridad y Wi-Fi.
  - El rango obtenido empezando por el principio de la red y usando la máscara 255.255.255.252 se utiliza para la conexión con el Backbone.
  - El rango obtenido empezando por el final de la red y usando la máscara 255.255.255.255 se utiliza para el loopback.
- La segunda, que es la impar, se utiliza para la LAN perteneciente a ese Centro de Usuario.
  - Las primeras 17 IPs (1–17) se reservan para los equipos de comunicaciones.
  - La punto uno de la clase esta reservada para el Router que da servicio al CU
  - La punto diez, se reserva para el primer Switch del CU.



## Nomenclatura de Red

### D.1. Introducción

---

Para realizar el seguimiento de despliegue de equipos y centros de una forma sencilla es conveniente realizar un convenio de nomenclatura. Este convenio alcanza a cualquier elemento al que se pueda hacer referencia en la red, es decir, centro, equipo, tarjeta, interfaz, enlace, circuito y cable.

Para unificar los nombres asignados a las poblaciones y a los sitios, especialmente cuando hay poblaciones con más de un punto de presencia, se creará una tabla con el nombre del sitio, la provincia, un código de tres dígitos y el código de Centro que correspondan.

### D.2. Centros

---

Consideramos que un Centro es cualquier lugar físico donde haya equipos o conectividad de red. Se agrupan en: Zona, Intermedio y Usuario.

#### D.2.1. Centros de Zona e Intermedios

Un Centro de Zona o Intermedio lo constituyen uno o varios puntos de presencia de la Red Nodal, en el que están englobados todos los equipos de red de un mismo rango de direcciones.

Para tener el inventariado completo de donde están exactamente los equipos de red, el nombre del centro llevará un dígito que ordene los puntos de presencia.

La manera de identificar un equipo dentro de un CZ o un CI se compone de una nomenclatura basada en acrónimos de cinco letras y un número, como se puede ver a continuación:

**CT-LLL-n**

En la tabla D.1 se puede ver con más detalle la nomenclatura y a que corresponde cada letra y los valores que puede tomar.

Posición	Función	Valores
1	Indicador de Centro	C
2	Tipo de Centro	Z para Centros Zonales I para Centros Intermedios
4-6	Localización del Centro	Tres primeras letras de la localización p. ej. Valencia: VAL
8	Ordenación de los puntos de red	Ascendente dependiendo de la fecha de instalación

Tabla D.1: Nomenclatura Centros Zonales e Intermedios

### D.2.2. Centros de Usuario

La nomenclatura para identificado de CUs es muy similar a la actual para CZ y CI descrita en el apartado D.2.1. Se puede identificar el siguiente acrónimo para los CUs:

## CU-XXX-YY

Las dos primera letras se corresponden con la abreviatura de Centros de Usuario. Los dígitos marcados como XXX en el acrónimo van orientados a la identificación del CZ o CI del que cuelga el CU, siendo el dígito más a la izquierda el utilizado para identificar el CZ, p. ej. Un CU en Zaragoza llevaría un 9.

Los dos dígitos siguientes se utilizan para identificar el CI del que cuelga, estos dígitos se van aumentando de forma lineal a medida que se instala un nuevo CI en un CZ. Siguiendo el ejemplo de Zaragoza, el primer CI que se instaló en esta localidad fue el de Huesca por lo cual su identificador es el 901.

Los dígitos identificados como YY en el acrónimo se corresponden al número de CU dentro del CI., al igual que para la asignación del identificador de los centros intermedios los de usuario van de manera creciente según la fecha de instalación.

Por motivos de direccionamiento (véase anexo C) cada CI puede tener un total de 25 centros de usuario. Si se diera el caso de que un centro intermedio necesitara más de 25 centros de usuario se montaría un nuevo centro intermedio virtual sobre el zonal dando direccionamiento reservado para dos intermedios a solo uno.

Para resumir, el centro de usuario montado en Ayerbe, Zaragoza; lleva el identificador CU901 – 01, ya que fue el primero en ser montando en Huesca que a su vez fue el primer CI montado en Zaragoza, que se identifica como zona nuevo de backbone.

## D.3. Equipos de Red Troncal (Backbone)

---

Se asigna un nombre a cualquier equipo que esté instalado en un Centro. La nomenclatura refleja el tipo de equipo y la función que realiza. Los equipos se ordenan en base a tipo de equipo y función.

Para cualquier tipo de equipo, función y localización, se define un acrónimo que varía dependiendo de los tres factores mencionados con anterioridad. En la tabla D.2 se puede identificar a que corresponde cada letra del acrónimo.

## EF-LLL-n

Aunque existen una gran variedad de equipos en la red de ADIF, para el desarrollo de este proyecto, solo nos interesan la nomenclatura de Router y Switch.

Posición	Función	Valores
1	Tipo de Equipo	R para un Router
		S para Switch ó Conmutador
2	Función	Variara dependiendo del equipo
4-6	Localización del Equipo	Tres primeras letras de la localización p. ej. Sevilla: SEV
8	Ordenación de los equipos	Ascendente dependiendo de la fecha de instalación

Tabla D.2: Nomenclatura para Equipos

### D.3.1. Router

Como ya se ha mencionado en el apartado D.3 existe un acrónimo estandarizado para etiquetar equipos. Cómo se puede ver la tabla D.2 el primer campo se corresponderá con una **R**.

El segundo campo, corresponde con la función que desarrolla, puede tomar los siguientes valores:

- **P**: Funcionalidad de P.
- **Z**: Funcionalidad de PE.
- **I**: Funcionalidad de P y PE en Centro Intermedio.
- **B**: Funcionalidad de P y PE en Centro Zonal.
- **U**: Funcionalidad de CPE (CE).
- **R**: Reflector de Rutas.

### D.3.2. Switch o Conmutador

Como ya se ha mencionado en el apartado D.3 existe un acrónimo estandarizado para etiquetar equipos. Cómo se puede ver la tabla D.2 el primer campo se corresponderá con una **S**.

El segundo campo, corresponde con la función que desarrolla, puede tomar los siguientes valores:

- **I**: Concentrador de Interconexión entre RI y SB.
- **N**: Concentrador de redes del nodo.
- **B**: Conmutador de Backbone.
- **U**: Concentrador de red de Usuario.
- **M**: Concentrador de múltiples redes de Usuario.

## D.4. VLAN

---

Las VLAN son utilizadas en tres entornos distintos. Por un lado están las del Backbone, que interconectan Centros de Zona. Por otro están las Nodales, es decir, equipos dentro de los Centros de Zona e Intermedio. Y por último, las que dan acceso a los Centro de Usuario.

La VLAN 1 no se utiliza en ningún caso. La nomenclatura dependerá del tipo de VLAN de la que se trate.

#### **D.4.1. VLAN Backbone**

Las VLAN de Backbone estarán dentro del rango 201–350. El nombre de las VLAN de Backbone, siguen la siguiente nomenclatura:

### **VBnnnn**

La primera letra (**V**) indica que se trata de un VLAN, mientras que la segunda letra siempre será una **B** para indicar que se trata de una VLAN de Backbone. Los siguientes cuatro caracteres se corresponderán con números que no será otra cosa que el código de VLAN asignado.

#### **D.4.2. VLAN Nodal**

Las VLAN de los Nodos estarán dentro del rango 351–400. El nombre de las VLAN de los Nodos se corresponde con el siguiente acrónimo:

### **VNLLL-nnnn**

La primera letra (**V**) indica indicando que se trata de un VLAN, mientras que la segunda letra siempre será una **N** para indicar que se trata de una VLAN de Nodo. Igual que para la nomenclatura de Equipos y Centros, las tres siguiente letras es la abreviatura de la localización del nodo (p. ej. Aranjuez sería ARA). Los últimos cuatro caracteres se corresponderán con números que no será otra cosa que el código de VLAN asignado.

#### **D.4.3. VLAN de Acceso**

Las VLAN de Acceso pertenecerán a los rangos 401–499 y 600–699 para aquellos CU/RU que dependan del primer RI y los rangos 501–599 y 700–799 para aquellos CU/RU que dependan del segundo RI. El acrónimo que las identifica se puede identificar con:

### **VAzziiuuu-nnnn**

La primera letra se corresponde con una **V** indicando que se trata de un VLAN, mientras que la segunda letra siempre será una **A** para indicar que se trata de una VLAN de Acceso.

Los dos dígitos que se corresponden con las letras *zz* en el acrónimo se identifican con el número del centro de zona, mientras que los dígitos correspondientes con las letras *ii* con los del centro intermedio.

Las letras *uuu* es el número de centro de usuario sin ceros a la izquierda y como se ha comentado tanto para VLAN nodales y de acceso, los cuatro últimos dígitos serán el código identificador de la VLAN.





## Manual de configuraciones

### E.1. Introducción

---

En este anexo se incluyen todas las configuraciones de equipos de red necesarias para el funcionamiento del Centro de Usuario. Estas configuraciones abarcan los equipos instalados en ubicación y todos los equipos de Backbone que dan servicio a estos.

Por motivos de seguridad las IPs y algunos comandos no se muestran en su totalidad o se han obviado.

### E.2. Router en Ubicación (RU200-58) - Teldat V

---

```
log-command-errors
no configuration
description RU200-58
set hostname RU200-58
set host-location XXXXXX
set inactivity-timer 5
feature vrf
; -- VRF user configuration --
vrf SEGUR-UNA06
vrf RENFE-IP
exit
;
add device direct-ip 1
add device tnip 2
add device tnip 3
add device tnip 4
add device eth-subinterface ethernet0/1 158
add device eth-subinterface ethernet0/1 2158
add device eth-subinterface ethernet0/0 458
add device eth-subinterface ethernet0/0 2458
add device loopback 1
set data-link at cellular1/0
set data-link nic cellular1/1
time summer-time recurring 5 sun mar 02:00 5 sun oct 03:00
;
user XXX hash-password XXXXXXXXXXXXXXXX
;
global-profiles dial
```

```
; -- Dial Profiles Configuration --
profile cellular default
profile cellular dialout
profile cellular 3gpp-accessibility-control traffic 20 all
profile cellular 3gpp-apn adif.es
;
exit
;
feature aaa
; -- AAA user configuration --
enable
tacacs-servers
server "Principal"
key ciphered XXXXXXXXXXXX
host 10.240.xxx.xxx
source-address loopback1
exit
;
server "Backup"
key ciphered XXXXXXXXXXXX
host 10.240.xxx.xxx
source-address loopback1
exit
;
exit
;
group server tacacs+ "Grupo_Tacacs1"
server Principal
exit
;
group server tacacs+ "Grupo_Tacacs2"
server Backup
exit
;
authentication login "XXXXXXXXXXXX"
method 1 group Grupo_Tacacs1
method 2 group Grupo_Tacacs2
method 3 local
exit
;
accounting exec "XXXXXXXXXXXX"
action-type start-stop
method 1 group Grupo_Tacacs1
method 2 group Grupo_Tacacs2
exit
;
exit
;
network cellular1/0
; -- Interface AT. Configuration --
coverage-timer 15
ppp lcp-options acfc
ppp lcp-options pfc
ppp lcp-options accm 0
network mode automatic
network domain cs+ps
exit
;
;
network direct-ip1
; -- Generic PPP User Configuration --
ip address dhcp-negotiated
;
base-interface
; -- Base Interface Configuration --
base-interface cellular1/1 link
base-interface cellular1/1 profile cellular
;
exit
;
direct-ip1
address dhcp
```

```
authentication sent-user ru200-58@adif_corpo@empresas password xxxxxxxx
exit
;
;
exit
;
;
network tnip2
; -- IP Tunnel Net Configuration --
ip address 192.168.xxx.xxx 255.255.252.0
;
enable
mode gre multipoint
source direct-ip1
keepalive 10s 3
nhrp enable
nhrp authentication ppp
nhrp holdtime 300
nhrp map 192.168.xxx.xxx 255.255.255.255 10.0.xxx.xxx
nhrp nhs 192.168.xxx.xxx
nhrp record
nhrp server-only
encapsulation
; -- GRE Configuration --
key 2
exit
;
;
;
network tnip4
; -- IP Tunnel Net Configuration --
ip vrf forwarding RENFE-IP
;
ip address 192.168.xxx.xxx 255.255.252.0
;
enable
mode gre multipoint
source direct-ip1
nhrp enable
nhrp authentication ppp
nhrp holdtime 300
nhrp map 192.168.xxx.xxx 255.255.255.255 10.0.xxx.xxx
nhrp nhs 192.168.xxx.xxx
nhrp record
nhrp server-only
encapsulation
; -- GRE Configuration --
key 4
exit
;
;
;
network loopback1
; -- Loopback interface configuration --
ip address 10.32.xx2.255 255.255.255.255
;
exit
;
;
network ethernet0/0.2458
; -- Ethernet Interface User Configuration --
ip vrf forwarding RENFE-IP
;
ip address 10.255.xxx.xxx 255.255.255.0
;
encapsulation dot1q 2458
cdp enable
exit
;
;
network ethernet0/0.458
```

```
; -- Ethernet Interface User Configuration --

ip address 10.31.xx3.1 255.255.255.0
;
encapsulation dot1q 458
cdp enable
exit
;
;
network ethernet0/1.158
; -- Ethernet Subinterface Configuration --
ip address 10.32.xx2.2 255.255.255.248
;
cdp enable
encapsulation dot1q 158
;
network ethernet0/1.2158
; -- Ethernet Subinterface Configuration --
ip vrf forwarding RENFE-IP
;
ip address 10.255.xxx.xxx 255.255.255.248
;
cdp enable
encapsulation dot1q 2158
;
exit
;
event
; -- ELS Config --
enable trace subsystem AT ALL
enable trace subsystem PPP ALL
print ip-header
print extra-info
exit
;
set console
; -- Console configuration --
login authentication XXXXXXXXXXXX
exit
;
set telnet
; -- Telnet user configuration --
login authentication XXXXXXXXXXXX
set max-telnet 5
exit
;
protocol ip
; -- Internet protocol user configuration --
router-id 10.32.xx2.2
;
route 10.18.xxx.xxx 255.255.0.0 direct-ip1
route 10.0.xxx.xxx 255.255.255.255 direct-ip1
route 10.0.xxx.xxx 255.255.255.255 direct-ip1
route 10.0.xxx.xxx 255.255.255.255 direct-ip1
route 10.0.xxx.xxx 255.255.255.255 direct-ip1
route 172.16.xxx.xxx 255.255.255.255 10.32.xx2.1
route 0.0.0.0 0.0.0.0 tnp2 220
;
dns-domain-name z1.xxx
classless
;
vrf RENFE-IP
router-id 10.255.xxx.xxx
;
route 0.0.0.0 0.0.0.0 tnp4 220
route 172.16.xxx.xxx 255.255.255.255 xxx.xxx.xxx.xxx
;
classless
exit
;
;
exit
```

```
;
set ftp
; -- FTP user configuration --
keepalive
login authentication XXXXXXXXXXXX
clients 4
exit
;
;
;
protocol snmp
; -- SNMP user configuration --
community dsic access write-read-trap
;
community public default
;
host 10.0.xxx.xxx trap version v2c dsic all
;
trap sending-parameters reachability-checking ip-route
exit
;
protocol bgp
; -- Border Gateway Protocol user configuration --
enable
;
as 65200
export as 65502 prot direct host 10.32.xx2.255
export as 65502 prot direct 10.32.xx3.0 mask 255.255.255.0
;
group type external peer-as 65502
; -- BGP group configuration --
peer 172.16.xxx.xxx
peer 172.16.xxx.xxx gateway 10.32.xx2.1
peer 172.16.xxx.xxx route-to-peer
exit
;
import as 65502 all preference 1
;
;
vrf RENFE-IP
enable
;
as 65200
export as 65502 prot direct 10.255.xxx.xxx mask 255.255.255.0
group type external peer-as 65502
; -- BGP group configuration --
peer 172.16.xxx.xxx
peer 172.16.xxx.xxx gateway 10.255.xxx.xxx
peer 172.16.xxx.xxx route-to-peer
exit
;
import as 65502 all preference 1
;
exit
;
exit
;
feature ntp
; -- NTP Protocol user configuration --
protocol
poll-interval 1024
source-address 10.32.xx2.255
peer address 1 10.240.xxx.xxx
peer address 2 10.241.xxx.xxx
exit
;
feature dns
; -- DNS resolver user configuration --
server 10.240.xxx.xxx
server 10.1.xxx.xxx
permanent-entry gestion type A 10.240.xxx.xxx
source-address 10.32.xx2.255
```

```
exit
;
feature wrr-backup-wan
; -- WAN Reroute Backup user configuration --
pair 1 primary ip-route 0.0.0.0 secondary interface direct-ip1
pair 1 primary ip-outgoing-ifc ethernet0/1.158
;
enable
exit
;
feature vlan
; -- VLAN configuration --
enable
;
vlan 2458 ethernet0/0 port internal
vlan 2458 ethernet0/0 port 4
vlan 458 ethernet0/0 port internal
vlan 458 ethernet0/0 port 4
;
ingress-filter ethernet0/0 port 4
;
tag-insertion ethernet0/0 port internal
tag-insertion ethernet0/0 port 4
;
exit
;
feature syslog
; -- SYSLOG client configuration --
enable
buffer-size 60
initial-delay 25
server 10.0.xxx.xxx
server 10.0.xxx.xxx
severity notice
source-address 10.32.xx2.255
exit
;
feature nsla
; -- Feature Network Service Level Advisor --
filter 1 nsm-op 1 rtt
filter 1 significant-samples 1
filter 1 activation threshold 300
filter 1 activation sensibility 80
filter 1 activation stabilization-time 30
filter 1 deactivation threshold 200
filter 1 deactivation sensibility 80
filter 1 deactivation stabilization-time 60
;
alarm 1 filter-id 1
;
advisor 1 alarm-id 1
;
advisor 2 not alarm-id 1
;
exit
;
dump-command-errors
end
```

---

### E.3. Swtich en Ubicación (LU200-58-1) - Cisco 2960

---

```
version 15.0
no service pad
service tcp-keepalives-in
service tcp-keepalives-out
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
```

```
!  
hostname LU200-58-1  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
logging buffered 16384  
no logging console  
enable secret 5 XXXXXXXXXXXX  
!  
username xxx privilege 15 password 7 XXXXXXXXXXXX  
username xxx privilege 0 password 7 XXXXXXXXXXXX  
username xxx privilege 0 password 7 XXXXXXXXXXXX  
aaa new-model  
!  
!  
aaa authentication login default group tacacs+ enable  
aaa authentication login telnet group tacacs+ line  
aaa authentication login consola line  
aaa authentication login conex group tacacs+ local  
aaa authentication enable default group tacacs+ enable  
aaa authorization exec default group tacacs+ local  
aaa accounting exec default start-stop group tacacs+  
aaa accounting commands 15 default start-stop group tacacs+  
!  
!  
!  
!  
aaa session-id common  
clock summer-time CET recurring last Sun Mar 2:00 last Sun Oct 3:00  
system mtu routing 1500  
vtp domain XXXX  
vtp mode transparent  
!  
!  
ip domain-name z1.xxx  
ip name-server 10.240.xxx.xxx  
ip name-server 10.1.xxx.xxx  
!  
!  
crypto pki trustpoint XXXXXXXXXXXX  
enrollment selfsigned  
subject-name XXXXXXXXXXXX  
revocation-check none  
rsakeypair XXXXXXXXXXXX  
!  
!  
crypto pki certificate chain XXXXXXXXXXXX  
certificate self-signed 01  
XXXXXXXXXXXX  
XXXXXXXXXXXX  
XXXXXXXXXXXX  
XXXXXXXXXXXX  
XXXXXXXXXXXX  
XXXXXXXXXXXX  
quit  
!  
!  
!  
!  
spanning-tree mode rapid-pvst  
spanning-tree extend system-id  
spanning-tree vlan 1-4094 priority 61440  
!  
vlan internal allocation policy ascending  
!  
vlan 428  
name ADIF-CORP  
!  
vlan 628  
name SEGUR-UNA06
```

```
!  
vlan 2428  
name RENFE-IP  
!  
!  
ip ftp source-interface Vlan428  
ip tftp source-interface Vlan428  
!  
!  
!  
interface FastEthernet0/1  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
no shutdown  
!  
interface FastEthernet0/2  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/3  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/4  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/5  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/6  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/7  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/8  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/9  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/10  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/11  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/12  
switchport access vlan 428  
switchport mode access  
shutdown  
!  
interface FastEthernet0/13
```



```
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/14
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/15
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/16
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/17
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/18
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/19
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/20
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/21
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/22
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/23
switchport access vlan 2428
switchport mode access
shutdown
!
interface FastEthernet0/24
switchport trunk allowed vlan 2428
switchport mode trunk
shutdown
!
interface GigabitEthernet0/1
description RU200-58_pe2/0
switchport trunk allowed vlan 428,2428
switchport mode trunk
no shutdown
!
interface GigabitEthernet0/2
switchport trunk allowed vlan 428,2428
switchport mode trunk
shutdown
!
interface Vlan1
no ip address
```

```
no ip route-cache
shutdown
!
interface Vlan428
description VLAN ADIF-CORP
ip address 10.32.xx2.10 255.255.255.0
no ip route-cache
no shutdown
!
ip default-gateway 10.32.xx2.1
ip http server
ip http secure-server
ip tacacs source-interface Vlan428
logging esm config
logging trap debugging
logging source-interface Vlan428
logging 10.0.xxx.xxx
snmp-server community adifcisco RO
snmp-server community dsic RW
snmp-server trap link ietf
snmp-server queue-length 100
snmp-server location "XXXXXXXXXX"
snmp-server system-shutdown
snmp-server enable traps snmp authentication linkdown linkup coldstart warmstart
snmp-server enable traps tty
snmp-server enable traps vtp
snmp-server enable traps vlancreate
snmp-server enable traps vlandelete
snmp-server enable traps port-security
snmp-server enable traps envmon fan shutdown supply temperature status
snmp-server enable traps config-copy
snmp-server enable traps config
snmp-server enable traps bridge newroot topologychange
snmp-server enable traps stpx inconsistency root-inconsistency loop-inconsistency
snmp-server enable traps syslog
snmp-server enable traps mac-notification change move threshold
snmp-server enable traps vlan-membership
tacacs-server host 10.240.xxx.xxx
tacacs-server host 10.240.xxx.xxx
tacacs-server directed-request
tacacs-server key EnsIc
!
control-plane
!
banner exec ^CC
=====
=====
Equipamiento de comunicaciones de la Red Corporativa
Direccion de Sistemas y Tecnologias de la Informacion (DSTI) de ADIF

Este acceso es restringido y monitorizado, cualquier accion quedara reflejada

El ingreso sin autorizacion expresa tiene sancion Administrativa y Penal
=====
=====
^C
banner motd ^CC
=====
=====
Equipamiento de comunicaciones de la Red Corporativa
Direccion de Sistemas y Tecnologias de la Informacion (DSTI) de ADIF

Este acceso es restringido y monitorizado, cualquier accion quedara reflejada

El ingreso sin autorizacion expresa tiene sancion Administrativa y Penal
=====
=====
^C
!
privilege exec level 10 copy running-config
privilege exec level 10 copy startup-config
privilege exec level 10 copy
```

```
!  
line con 0  
session-timeout 40  
exec-timeout 40 0  
logging synchronous  
login authentication conex  
line vty 0 4  
session-timeout 5  
exec-timeout 5 0  
login authentication conex  
transport input telnet  
line vty 5 15  
session-timeout 5  
exec-timeout 5 0  
login authentication conex  
transport input telnet  
!  
ntp source Vlan428  
ntp server 10.240.xxx.xxx prefer  
ntp server 10.241.xxx.xxx  
end
```

#### **E.4. Switch concentrador de múltiples redes de Usuario (SM-CHA-1) - Cisco WS-C3750G-24TS**

---

```
interface GigabitEthernet1/0/5  
description RU200-58_WAN_(TELDATV)_XXXXXXX  
switchport trunk encapsulation dot1q  
switchport trunk allowed vlan 158,2158  
switchport mode trunk  
storm-control broadcast level 5.00  
storm-control action trap  
spanning-tree portfast  
spanning-tree bpduguard enable  
spanning-tree guard root  
shutdown  
end  
!  
vlan 158  
name VA0200158-0158  
!  
vlan 2158  
name VA02002158-2158
```

#### **E.5. Router Conmutador de Backbone (RB-CHA-1) - Cisco ASR 900**

---

```
interface GigabitEthernet0/4/6  
!  
service instance 158 ethernet  
encapsulation dot1q 158  
rewrite ingress tag pop 1 symmetric  
bridge-domain 158  
!  
service instance 2158 ethernet  
encapsulation dot1q 2158  
rewrite ingress tag pop 1 symmetric  
bridge-domain 2158  
!  
interface BDI158  
description RU200-58_WAN_(TELDATV)_XXXXXXX
```

```
ip vrf forwarding ADIF-CORP
ip address 10.32.xx2.4 255.255.255.248
no ip redirects
no ip proxy-arp
ip flow ingress
standby 58 ip 10.32.xx2.1
standby 58 preempt
standby 58 authentication olivo
standby 58 name VA0200158-0158
shutdown
!
interface BDI2158
description RU200-58_WAN_(TELDATV)_XXXXXXXXXX_RENFE-IP
ip vrf forwarding RENFE-IP
ip address 10.255.xxx.xx 255.255.255.248
no ip redirects
no ip proxy-arp
ip flow ingress
standby 258 ip 10.255.xxx.xxx
standby 258 priority 107
standby 258 preempt
standby 258 authentication olivo
standby 258 name VA02002158-2158
shutdown
!
router bgp 65502
address-family ipv4 vrf ADIF-CORP
neighbor 10.32.xx2.2 peer-group BGP-RU_ADIF-CORP
neighbor 10.32.xx2.2 activate
exit-address-family
address-family ipv4 vrf RENFE-IP
neighbor 10.255.xxx.xxx peer-group BGP-RU_RENFE-IP
neighbor 10.255.xxx.xxx activate
exit-address-family
end
```

## E.6. Router Conmutador de Backbone (RB-CHA-2) - Cisco ASR 900

---

```
interface GigabitEthernet0/4/6
service instance 158 ethernet
encapsulation dot1q 158
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 158
!
exit
!
service instance 2158 ethernet
encapsulation dot1q 2158
rewrite ingress tag pop 1 symmetric
bridge-domain 2158
!
exit
!
interface BDI158
description RU200-58_WAN_(TELDATV)_XXXXXXXXXX
ip address 10.32.xx2.3 255.255.255.248
no ip redirects
no ip proxy-arp
ip flow ingress
standby 58 ip 10.32.xx2.1
standby 58 priority 107
standby 58 preempt
standby 58 authentication olivo
standby 58 name VA0200158-0158
shutdown
!
```

```
exit
!
interface BDI2158
  description RU200-58_WAN_(TELDATV)_XXXXXXXXXX_RENFE-IP
  ip vrf forwarding RENFE-IP
  ip address 10.255.xxx.xx 255.255.255.248
  no ip redirects
  no ip proxy-arp
  ip flow ingress
  standby 258 ip 10.255.xxx.xx
  standby 258 preempt
  standby 258 authentication olivo
  standby 258 name VA02002158-2158
  shutdown
!
exit
!
router bgp 65502
  address-family ipv4 vrf ADIF-CORP
    neighbor 10.32.xx2.2 peer-group BGP-RU_ADIF-CORP
    neighbor 10.32.xx2.2 activate
  exit-address-family
  address-family ipv4 vrf RENFE-IP
    neighbor 10.255.xxx.xxx peer-group BGP-RU_RENFE-IP
    neighbor 10.255.xxx.xxx activate
  exit-address-family
end
```

---

## E.7. Túneles de backup 3G/4G

---

Los túneles de backup, se establecen redundantes en ambos CPDs de ADIF (Delicias y Villaverde), de esta manera la probabilidad de que un punto de red se quede sin acceso es prácticamente nula.

Las líneas de configuración añadidas a los equipos los cuales son idénticos son las que siguen:

```
ip route vrf ADIF-CORP 10.32.xx2.255 255.255.255.255 192.168.x0.xx 250 tag 250
ip route vrf ADIF-CORP 10.32.xx3.0 255.255.255.0 192.168.x0.xx 250 tag 250

ip route vrf RENFE-IP 10.255.xxx.0 255.255.255.0 192.168.x8.xx 250 tag 251
ip route vrf RENFE-IP 10.255.xxx.xxx 255.255.255.240 192.168.x8.xx 250 tag 251
```